Mayer

Phys. sp.
453 fb

ANSTHEICHG

Ft

<36626446620016

<36626446620016

Bayer. Staatsbibliothek

Phys. Sc.
453 Ll

DIE

MECHANIK DER WÄRME

IN GESAMMELTEN SCHRIFTEN

VON

ROBERT MAYER.

DRITTE ERGÄNZTE UND MIT HISTORISCH-LITTERARISCHEN MITTEILUNGEN VERSEHENE AUFLAGE

HERAUSGEGEBEN VON

DR. JACOB J. WEYRAUCH,

PROFESSOR AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZU STUTTGART.

24. X-713

STUTTGART 1893.

VERLAG DER J. G. COTTA'SCHEN BUCHHANDLUNG

NACHFOLGER.

735 g

ROBERT MAYER

nach einem Daguerreotyp aus dem Jahre 1842.

DIE

MECHANIK DER WÄRME

IN GESAMMELTEN SCHRIFTEN

VON

ROBERT MAYER.

DRITTE ERGÄNZTE UND MIT HISTORISCH-LITTERARISCHEN MITTEILUNGEN VERSEHENE AUFLAGE

HERAUSGEGEBEN VON

DR. JACOB J. WEYRAUCH,

PROFESSOR AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZU STUTTGART.

STUTTGART 1893.

VERLAG DER J. G. COTTA'SCHEN BUCHHANDLUNG

NACHFOLGER.

ALLE RECHTE VORBEHALTEN.

Druck der Union Deutsche Verlagsgesellschaft in Stuttgart.

Vorwort zur ersten Auflage [1].

Die Aufmerksamkeit, welche neuerdings der mechanischen Wärmetheorie und ihren Konsequenzen allgemein geschenkt wird, hat sich in einer mir sehr erfreulichen Weise auch auf meine Arbeiten, welche diesen Gegenstand behandeln, erstreckt. Da aber meine Schriften nachgerade durch den Buchhandel nur schwer, teilweise auch gar nicht mehr, zu beziehen sind, so hat mich dieses veranlasst, diese kleineren Originalabhandlungen — und zwar im wesentlichen in unveränderter Form — gesammelt herauszugeben. Mit den ausgezeichneten Experimentalleistungen eines *Joule* und den analytischen Untersuchungen eines *Clausius* konkurrieren zu wollen, ist nicht meine Absicht, doch halte ich dafür, dass die Sammlung meiner Schriften insbesondere denen, welche der geschichtlichen Entwickelung der neuen Lehre Interesse schenken, eine willkommene Gabe sein wird, und da in denselben in gedrängter Kürze und in leicht fasslicher Darstellung das Wesentlichste zusammengestellt ist, so wird überhaupt jeder, der sich für Naturwissenschaften interessiert, Belehrung und Anregung daraus schöpfen können.

Die erste Abhandlung vom Jahre 1842 beschäftigt sich, wie schon ihr Titel angibt, ausschliesslich mit der anorganischen Welt und es sind in derselben die Prinzipien

---

[1]) Dieselbe enthielt die folgenden Aufsätze I, II, VI, III, IV in der hier angeführten Reihenfolge. *W.*

der mechanischen Wärmelehre in kurzen, bestimmten Sätzen niedergelegt. In der zweiten Arbeit, „Die organische Bewegung“, vom Jahre 1845 ist dieser Gegenstand zuerst auf eine mehr eingehende Weise entwickelt und es sind sodann Konsequenzen für die Physiologie daraus gezogen, welche von Fachmännern wohl kaum mehr beanstandet werden dürften. Dem aufmerksamen Leser wird es aber nicht entgehen, dass in dieser Schrift und zwar im physikalischen Teile derselben schon Andeutungen enthalten sind, nach welchen der Wärmeeffekt kosmisch bewegter Körper leicht und sicher bestimmt werden kann — ein Thema, welches drei Jahre später in meiner Schrift über die „Dynamik des Himmels“ zur ausführlicheren Besprechung kam. Dass die planetarischen Massen, welche um die Sonne kreisen, indem sie sich in einem widerstandleistenden Medium, dem Aether, bewegen, fortwährend Wärme entwickeln, welche in Summa dem Effekte der Sonnenstrahlung selbst quantitativ nahezu gleichkommt und für die Temperatur des solaren Weltraumes von bedeutendem Einflusse sein muss, ist dort noch nicht ausgeführt, lässt sich aber aus den Prämissen leicht entwickeln, und es wird damit auch die Meteoritenlehre in den Stand gesetzt, Rechenschaft davon zu geben, dass die Erde in verschiedenen Regionen ihrer Bahn verschiedene Temperaturen antrifft.

Es enthält ferner „Die organische Bewegung“ wiederholt Andeutungen über die Auffassung pathologischer Zustände und in diesem Sinne reiht sich an diese Schrift eine kurze Abhandlung „Ueber das Fieber“ als ein Versuch, Fragen aus der allgemeinen Pathologie von dem gewonnenen Standpunkte aus in Angriff zu nehmen.

In der Schlussschrift „Ueber das mechanische Wärmeäquivalent“ ist das Augenmerk hauptsächlich auf die naturwissenschaftliche Methodik und Terminologie gerichtet, und ich glaube diese kurze Abhandlung jedermann, der sich in den besprochenen Fächern klare Begriffe bilden oder unbestimmte Vorstellungen berichtigen will, zum Studium empfehlen zu dürfen. Es ist damit zugleich die metaphysische

Seite des neuen Gegenstandes berührt, welche den Prinzipien und Konsequenzen der materialistischen Anschauungsweise geradezu entgegengesetzt ist. Eine ausführliche Bearbeitung dieses Themas verdanken wir dem ausgezeichneten französischen Physiker *A. Hirn* in seiner „*Esquisse élémentaire de la théorie mécanique de la chaleur et de ses conséquences philosophiques*“, *Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Colmar, 1864* [1]).

Dem wiederholt an mich gestellten Ansinnen, ein Lehrbuch der Physik mit Zugrundelegung meiner neuen Wärmelehre zu verfassen, konnte ich nicht entsprechen; es ist aber diese Aufgabe in trefflicher Weise von dem grossen englischen Physiker *John Tyndall* in seinem berühmten Werke „*Heat considered as a Mode of Motion, London 1863*“ [2]), gelöst worden.

Heilbronn, im Frühjahr 1867.

Der Verfasser.

---

[1]) Aufgenommen und weitergeführt in *Hirns* „Analyse élémentaire de l'Univers“. Paris 1868. *W.*

[2]) Deutsch von *H. Helmholtz* und *G. Wiedemann*. Dritte Auflage. Braunschweig 1875. *W.*

Vorwort zur zweiten Auflage [1].

Das mechanische Wärmeäquivalent ist in vorliegender zweiter Auflage nach den Ergebnissen der neueren Forschungen, statt wie früher zu 367, nun = 425 Meterkilogramm gesetzt und hiernach sind auch die sich darauf gründenden Rechnungen reduziert worden, was zur Bequemlichkeit des Lesers dienen wird, und um so eher geschehen konnte, da die Prioritätsfrage nun wohl endgültig als erledigt angesehen werden darf. — Im Anhange sind fünf Vorträge naturwissenschaftlichen Inhaltes beigefügt, welche namentlich auch den Standpunkt deutlich bezeichnen, welchen der Verfasser für den geeignetsten hält, um von ihm aus die Welt mit ihren unendlich mannigfaltigen Erscheinungen zu betrachten. Es sind diese Vorträge zugleich so populär gehalten, dass dieselben wohl geeignet sein werden, ein allgemeines Interesse für sich in Anspruch zu nehmen.

Heilbronn, im Januar 1874.

J. R. Mayer.

---

[1]) Diese enthielt die folgenden Aufsätze I, II, V, VI, III, IV, VII, VIII, IX, XI, X, in der hier angeführten Reihenfolge. *W.*

Vorwort zur dritten Auflage.

Zu den klassischen Werken der wissenschaftlichen Weltlitteratur wird allezeit die „Mechanik der Wärme“ von *Robert Mayer* gehören. In unsrer Zeit bildet dieselbe noch immer die beste Quelle derjenigen Anschauungen und Gesetze, welche das Fundament der neueren Naturwissenschaft ausmachen. Die Werke über Physik geben in dieser Beziehung nur ungenügenden Aufschluss, während die Lehrbücher der mechanischen Wärmetheorie trotz grossen mathematischen Apparates die universelle Bedeutung nicht erkennen lassen, welche die Mechanik der Wärme in der einfachen *Mayer*schen Darstellung hat.. Jeder berufsmässig mit Naturwissenschaften und deren Anwendungen Befasste sollte dies Werk gelesen haben, in keiner Studien- und Schülerbibliothek sollte es fehlen.

Man wird es daher sehr gerechtfertigt finden, dass die Verlagsbuchhandlung nach Aufbrauch der zweiten Auflage von 1874 sofort eine neue Ausgabe der „Mechanik der Wärme“ in Aussicht nahm, und als die Anfrage wegen Besorgung derselben an den Unterzeichneten erging, konnte er nicht zögern, derselben zu entsprechen.

Es war bestimmt, dass am *Mayer*schen Texte nichts geändert werden dürfe, während alles Weitere dem Herausgeber überlassen blieb. Wie von dieser Freiheit Gebrauch gemacht wurde, zeigt das nun vorliegende Werk.

Zunächst sind die zwei kleinen Aufsätze aufgenommen (XII und XIII), welche *Mayer* nach 1874 veröffentlicht hat. Wie er selbst 1874 die „Naturwissenschaftlichen Vorträge“ von 1871 der zweiten Auflage einfügte, so würde er jene 1876 im gleichen Verlage erschienenen Schriften ohne Zweifel einer neueren Auflage einverleibt haben. Da die 1874 berücksichtigten Abhandlungen einige Streichungen gegen die ursprüngliche Fassung derselben zeigen, so wurden die betreffenden Ergänzungen in den „Anmerkungen“ gegeben. Hierher gehört insbesondere die ausführliche Polemik gegen *Liebig* in Aufsatz II.

Es konnte nicht die Aufgabe des Herausgebers sein, die *Mayer*sche Darstellung mit Korrekturen und kritischen Bemerkungen zu begleiten. Wer *Mayers* Schriften liest, will seine Ansichten kennen lernen, welche übrigens nur in unwesentlichen Punkten von den jetzt allgemein anerkannten abweichen. In einer Hinsicht jedoch war eine Ausnahme nicht wohl zu vermeiden. *Mayer* setzt meist die lebendige Kraft gleich mc^2 anstatt $\frac{mc^2}{2}$, und verwechselt mitunter das Gewicht mit der Masse. Da nun lebendige Kraft, Arbeit, Wärme u. s. w. äquivalent sein sollen, so können Widersprüche innerhalb des Gegebenen selbst entstehen. Es wurden deshalb in jenen Fällen ohne Aenderung des *Mayer*schen Textes die richtigen Ausdrücke in eckigen Klammern beigefügt.

Die Anmerkungen zu den einzelnen Aufsätzen sind an den Schluss derselben gestellt, um die Lektüre der Gedankenfolge *Mayers* nicht zu stören. Sie beschränken sich auf litterarische Nachweise, Erläuterungen, Hinweise auf ausführlichere Angaben und solche Ergänzungen, welche das von *Mayer* selbst Gegebene zu beleuchten geeignet sind. Dabei wurde Mass zu halten gesucht, doch war zu beachten, dass das Werk nicht nur für litteraturbewanderte Physiker bestimmt ist, und angesichts der bleibenden Bedeutung desselben auch manches jetzt Bekannte eine Festlegung erwünscht machte. Dass *Mayer* konsequent „Kraft“ nennt, was man

heute als „Energie“ bezeichnet, ist zu Anfang gelegentlich in Erinnerung gebracht.

Bei keinem unsrer grossen Forscher haben die Schriften und Lebensschicksale einander mehr als bei *Mayer* beeinflusst. Der Herausgeber hat es daher für zweckmässig erachtet, das Werk derart mit historischen und biographischen Mitteilungen zu versehen, dass die einzelnen Aufsätze in chronologischer Folge aus der Darstellung der Lebensverhältnisse heraustreten. Hierbei wurde auch das umfassende neue Material berücksichtigt, welches in einem zweiten Werke, „Kleinere Schriften und Briefe von *Robert Mayer*, Nebst Mitteilungen aus seinem Leben“, Stuttgart 1893 [1]), vom Unterzeichneten beigebracht ist. Da die Seiten Ueberschriften tragen und die *Mayer*schen Aufsätze in grösserem Drucke als die Beigaben des Herausgebers gehalten sind, so ist es dem Leser sehr erleichtert, die letzteren vorläufig oder endgültig unberücksichtigt zu lassen.

Als Schmuck des Werkes dienen ein bisher unbekanntes Bild *Robert Mayers* aus dem Jahre der Veröffentlichung seines grundlegenden Aufsatzes (1842), eine Ansicht seines in Skulptur und Architektur wohlgelungenen Heilbronner Denkmals (Bildhauer *Rümann*, Architekten *Eisenlohr* und *Weigle*, enthüllt 1892), und das Faksimile der ersten noch vorhandenen brieflichen Mitteilung *Mayers* betreffend die von ihm auf der Reise nach Ostindien gewonnenen Anschauungen (an *Carl Baur*, vom 24. Juli 1841). Den Schluss bilden ein ausführliches Personenregister und ein Sachregister.

Bei allen die „Mechanik der Wärme“ und das oben erwähnte zweite Werk betreffenden Angelegenheiten hatte ich mich weitgehenden Entgegenkommens der Familie *Robert Mayers* zu erfreuen. Gar manche thatsächliche Angaben würden ohne die verständnisvollen Bemühungen von Fräulein *Emma Mayer* kaum zu beschaffen gewesen sein. Ich

---

[1]) Dasselbe soll in der Folge kurz zitiert werden: „Kleinere Schriften und Briefe“.

erfülle nur eine Pflicht, wenn ich auch an dieser Stelle meinen Dank dafür ausspreche. Der Verlagsbuchhandlung fühle ich mich verbunden für die Bereitwilligkeit, mit welcher sie meinen Wünschen bezüglich der Herstellung des Werkes entsprochen hat.

Stuttgart, Ende März 1893.

Jacob J. Weyrauch.

Inhalt.

Seite

Robert Mayer. 1—10 1

I. Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur. 1842 23

Anmerkungen 30

Robert Mayer. 11—15 33

II. Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel. 1845 45

Anmerkungen 129

Robert Mayer. 16—22 139

III. Beiträge zur Dynamik des Himmels. 1848 . . 151

Anmerkungen 216

Robert Mayer. 23—27 224

IV. Bemerkungen über das mechanische Aequivalent der Wärme. 1851 235

Anmerkungen nebst Anhang A und B 276

Robert Mayer. 28—29 294

V. Ueber die Herzkraft. 1851 298

Anmerkungen 301

Robert Mayer. 30—40 303

VI. Ueber das Fieber. 1862 324

Anmerkungen 336

Robert Mayer. 41—44 338

VII. Ueber notwendige Konsequenzen und Inkonsequenzen der Wärmemechanik. 1869 347

Anmerkungen 357

Robert Mayer. 45—46 362

VIII. Ueber Erdbeben. 1870 367

Anmerkungen 377

Robert Mayer. 47 378

IX. Ueber die Bedeutung unveränderlicher Grössen. 1870 381

Seite

Anmerkungen 393
Robert Mayer. 48 394
X. Ueber die Ernährung. 1871 396
Anmerkungen 413
Robert Mayer. 49 415
XI. Ueber veränderliche Grössen. 1873 418
Anmerkungen 429
Robert Mayer. 50 430
XII. Die Torricellische Leere. 1875 433
Anmerkungen 435
Robert Mayer. 51 437
XIII. Ueber Auslösung. 1876 440
Anmerkungen 447
Robert Mayer. 52—55 448

Personenregister 455
Sachregister 459

MAYER-DENKMAL

vor dem Rathause zu Heilbronn.

Halle. 24 Feb. 40.

Liebster Freund!

Vor allem empfange meinen Dank, für die wahlen Besorgung der Adresse von Plaris Ärzt, welche meinem Bruder vieles Gutes mögen ob die gefallen in allen vorkommenden Fällen mein Dienst leistung in Anspruch zu nehmen. — Et maintenant à l'autre. Freund Eschen sagte mir neulich mit der über die Systeme der Physiologie gesprochen, welches ich von meinem Vater mitbrachte, d. h. daß er sich für dasselbe in der Zeit gelegt ich mögliche Mühe mit Vergnügen diese Gelegenheit meinen Bekannten die mir in jeden Grade zur Ehre. Gereichung gewordene, einen Lehrer mitzutheilen, sehr dabei natürlich aber erwähnt daß die Niemand weiter abwenden soll. Da ich mir in der Beurtheilung dieser Sache nicht gern einen Vorwurf machen möchte. — Von Physiologie, Pathologie, Untersuchungen ausgehend, wie den es mir scheint, sehr zu richtigen Grundsätzen gelangt zu sein, wende ich diese Grundsätze consequent rückwärts verfolgend, vollkommen in das Gebiet der Chemie: Physik übergeführt, wobei eine Naturanschauung sich ausbildete, welche mir nun überzeugend d. wirklich der wahre Reiz von die jetzt unerklärbaren Phänomenen völlig aufhellte, d. die mir einen Blick in das Naturwissenschaftliche d. die Specielle Medicin, auch die wichtigsten Fragen der Metaphysik eröffnet. Du mußt lachend rufen: viel auf einmal! ich bekenne die aber auch ist

Diese Forschungen des eigentliche Gegenstand ausgemachter Thatsachen während meiner ganzen Reise, in Rücksicht auf meinen hiesigen Aufenthalt so sind zweckmäßig, u. daß mir hier allein, in der Nähe so fast fürnehmlich beschäftigen einer gewissen Wegen verpflichtet. Nach dem ich Ihnen Ihrer Weise allen Respekt erzeigen zu übersenden, will ich Ihr einen neuen d. Inhalt unsere Reise selbst zu lesen. — Der Chemiker faßt Körper der Grundstoffe, das ist die Substanz unzerstörlich, i. d. die einfachen Elemente in gebildeten Verbindung in wohlmöglichst Übereinstimmung, wie H d. O verschiedenen (qualitative o mengen) in HO zu Wasser, so daß der Chemiker auf angenommen H: O mengen wirklich zu O (H O aber zu einem gefälligen oder unterschiedlichen. einfacher Verhältniß. Dieser Basis bemüht sich unser Chemiker, welche offenbar allein zu abgemessenen Resultaten führen könnte ganz richtig. Grundsätze müssen wir daß es Dinge anwenden, daß sie sind wie die Substanz unzerstörbar, daß sie combiniren sich miteinander, verschieden sowohl in an allen Form (innere qualitative o) haben dasein in einer andern art, der Zusammensetzung ob all einfach u. 2 sein oder so wesentlich alt es von H d. O, d. HO. — Die Dinge, (in dem strengen philosophischen Sinn, als es nicht besser will, so bald als es wünschen) sind: Anziehung Electricität. d. Wärme. — diese Anziehung + MC entsprechen dem einzigen (in der Substanz) gemäß unterschieden, — MC gibt mit einer Anziehung Quantitäten zusammen, electrisch, 2 MC; aber mit der Zeiten (qualitativen Bestimmung) O der Wa

bleibt - 0 2MC, dies ist Wärme; dies d. theoret. Entwicklung
d. alten Erfahrungssatz, daß bei Reibung Wärme entsteht; natürlich
gilt dies nur in der Dynamik, d. h. in der Statik, die nur in ganz best.
d. wirklich. Bewegung MC vor. Wie bleibt - dies d. gesetzt den Fall: man bewe-
gung absorbirt u. erstirbt sie bildet sich immer neu aus unsichtbaren Luft-(Bewegungs)
quantum gegen entsprechendes Quantum von Luft mit anderer qualität nämlich
als Wärme. Hieraus knüpft sich: die Lehre d. Übertragung d. Bewegung, der
Leitungsfähigkeit u. Entstehung für Bewegung: (Elasticität; überall ist es auf
gestellt Gleichgewicht u. dessen Gesetze. - die Anordnung u. Erklärung d. Wärme
ist enthalten in der Formel für Wärme 0 2MC, welche nur dann d. ge-
bietet gibt 0 wenn d. Bewegung nach Richtung Weite für Zusammenstoß
entfällt; d. h. ist jeder Quantum + Bewegung in = großen - Bewegung ent-
gegen; 99. die Formel 0 2MC gesetzt übersetzt für Übertragung Bewegung;
Unterschied dieser von der Wärme nur ein qualitativer - die Wärme entsteht
nicht, d. h. wenn die Bewegung ihren Quantum entsprechend in Wellen sich fortsetzt;
Das ist wiederholt: die Wärme ist ein qualitativ 0 gewordene Bewegung. -
Da nun $MC = \frac{M}{x} \cdot xC$ so bezeichnet x die Energie der Bewegung; $x = \infty$ gibt
die Formel für d. Luft; diese ist $0\,2\frac{M}{\infty}\,\infty C$. Alles von der Bewegung i.
Wärme gesetzte gilt also auch für d. Luft, der Unterschied ist als Bewegung von
absorbirt. Energie. - Was die Electr. betrifft so trifft die antizipirt gefor-
dert: 0 2MC = Wärme = 0 2E., also z. B. MC = E quantitativ, die Ver-
schiedenheit ist nur eine Qualitative. Die Entwicklung der E. Lehre auf diesen
Principien ist von ganz besonderer Wichtigkeit; sie beschäftigt sich à present
vorzugsweise damit. - Das Parallelogramm der Kräfte bedarf in der Dynamik
(wie in der Statik) auch der Lehre einer mechanische Begründung; die
Lehre von den Resultirenden, die bei Zusammensetzung der Bewegung übergehen,
bei Inhalt der Diagonale u. die (zusammengesetzten größeren einschließenden
Teile) irrig vorausgesetzt wurde; dies soll für die Gesetze der Central

Sonnigkeit wichtige Folgen; [illegible] gesagt: es verhält sich der Contrast
Körper gegen die Peripherie [illegible], wie die perspektiv. Körper ist
also gegen der Centrum fallend sich verhalten; hier ist [illegible] der Entwicklung. – Damit habe ich Ihnen die größten Züge eines [illegible]
selbst mitgetheilt; ein genaueres Eingehen gegen der Ausführung kann
uns nicht fehlen; ich habe aber den Tag folgenden für gründliche
Forschung auf jüngste uns der objectiven Wahrheit uns gegebenen
übergrünt, als ob es uns Künstlern Mittel anlegen sollte, je
der Freiheit wird wir aber fortwährend wollkommen. Jeder Freiheit gibt
es aber fortwährend ein [illegible] mutlösige Störungen erfordern können;
ich lasse mich aber in allen sein, sondern es bis zum äußersten pflichtgemäß Ausharren
oder äußerer Nothwendigkeit ein ganz specielle Gränze ziehen. – Wenn ich mit der
Geschichte der Antiken Natur so ist die Künstlerin als eine [illegible]
abgerissen will, fortig gemordet, so ist mein Absicht eine Gestalten
der Lebenden Natur fortwährend gegründet aber in Übereinstimmung zu entwickeln.
Über sein ausgesprochen sehr ich in Artikel, welch ein Vorgang. Sein [illegible]
in Rücken vor. Wenn sondern, [illegible] deponirt; bis jetzt schien auf
K. Antwort, so wäre mir dieser Gefahr neu die [illegible]
welches, ob der Ausdruck willkürlich schon abgedruckt mit ist in andere
Falle der Antwort vor Vorgang. Im welch ist [illegible] mir [illegible] wieder bald,
Dringe wirst. – Ich sehe einer Äußerung von Ihnen über [illegible] gespannt mit
Ihrem [illegible] in vorzüglicher Discretion zu [illegible]

Es grüßt Sie herzlich

Ihr

Gust.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

Robert Mayer.

1.

Um die Mitte des 17. Jahrhunderts lebte in dem herzoglich württembergischen Dorfe Wangen bei Göppingen, unweit des Hohenstaufen, „der ehrwürdig, achtbare und wohlgelehrte Magister *Christophorus Mayer*“, evangelischer Pfarrer daselbst. Dessen Sohn erwarb im Jahre 1696 das Bürgerrecht der Reichsstadt Heilbronn und wurde so der Begründer einer angesehenen Heilbronner Familie, welche noch heute in der Neckarstadt ansässig ist. Einer seiner Nachkommen, *Christian Jacob Mayer,* kaufte von der Familie *von Rauch* ein grösseres Anwesen mit Nebengebäuden, Hof und kleinem Garten, und errichtete darin die neue Apotheke „Zur Rose“, welche sich infolge gediegener Kenntnisse und gewissenhafter Geschäftsführung ihres Besitzers bald des besten Rufes erfreute. Am 25. November 1814 wurde *Christian Mayer* von seiner Ehefrau, *Elisabeth* geborene *Heermann* aus Heilbronn, ein dritter Sohn geschenkt, dessen Denkmal am 25. November 1892 vor seiner Geburtsstätte enthüllt worden ist: *Julius Robert Mayer.*

Der Knabe, welcher in so bewegter Zeit die Welt betrat, zeigte frühzeitig lebhaftes Temperament und empfänglichen Sinn. Dieser fand schon im Elternhause reichliche Nahrung; überall gab es physikalische und chemische Apparate, naturgeschichtliche Sammlungen, Bücher aller Art. Der Vater beschäftigte sich viel mit naturwissenschaftlichen Studien und sah es gerne, dass seine Söhne Interesse an denselben gewannen; der neun Jahre ältere Bruder *Fritz* (geboren den 18. Dezember 1805) war ein gelehriger Schüler und stets bereit, *Robert* die erwünschten Anleitungen zu geben. Er trat, wie auch der zweite Bruder

Gustav, als Gehilfe in die väterliche Apotheke, die er in der Folge übernahm, während *Robert*, als seine Vorliebe für naturwissenschaftliche Dinge mehr und mehr in den Vordergrund trat, zum Studium der Medizin bestimmt wurde.

Auch das Leben in der schön gelegenen, an historischen Erinnerungen reichen, und rührigen Handelsstadt war geeignet, auf den Knaben anregend zu wirken. Er trieb sich viel im Freien umher, lernte tüchtig schwimmen und Kahnfahren, durchstreifte die Mühlen und Fabriken am Neckar und zeigte ein besonderes Talent für die Ergründung maschineller Einrichtungen. *Mayer* selbst erzählte später, dass es für ihn eine gewöhnliche Unterhaltung gewesen sei, Wasserrädchen in den nach dem Neckar fliessenden Pfühlbach zu setzen und wohl auch durch deren Umdrehung andre kleine Gegenstände zu bewegen; bei dieser Gelegenheit sei er einmal, im Alter von etwas über zehn Jahren, auf den Gedanken gekommen, ein *perpetuum mobile* zu konstruieren; die Unmöglichkeit, dies zu erreichen, habe einen bleibenden Eindruck auf ihn gemacht [1]).

Im Gymnasium seiner Vaterstadt gehörte *Mayer* nicht zu den besseren Schülern, was bei einem selbständigen Kopfe nicht wunder nehmen kann. Ueber den Geist, in welchem damals in manchen württembergischen Lehranstalten fast ausschliesslich Latein und Griechisch getrieben wurde, bemerkte 1834 Professor *Kapff* in der Einladungsschrift zur Feier des königlichen Geburtsfestes am Heilbronner Gymnasium: „Aber selbst der Unterricht in diesen Sprachen wird nicht auf rationelle Weise getrieben und zu naturgemässer Entwickelung des Geistes benutzt, sondern die Chrestomathien, nach denen im Landexamen [2]) geprüft wird, werden so oft wiederholt, bis der Schüler die Uebersetzung derselben fast aus dem Gedächtnisse hersagen kann, und die Geisteskraft sonst nur nach einer Richtung hin, zur Erziehung einer für dieses Alter, ich möchte sagen, unnatürlichen Fertigkeit im Lateinischkomponieren angestrengt, so dass die Fälle nicht selten sind, dass solche Schüler zwar als fertige Lateiner, aber sonst an Geist und manchmal auch an Körper verkrüppelt in die Seminare übertreten."

---

[1]) „Kleinere Schriften und Briefe", XIX 2 B.

[2]) Konkursprüfung zur Aufnahme in die niederen theologischen Seminare Württembergs, welche alljährlich mit Schülern der Lateinschulen und Gymnasien in Stuttgart abgehalten wird.

Wenn nun auch *Mayer* der Fülle sprachlicher Regeln keinen Geschmack abgewinnen konnte, so besass er doch Sinn für fremde Sprachen und Freude an dichterischen Erzeugnissen, deren Aneignung ihm durch ein ausgezeichnetes Gedächtnis erleichtert wurde. Noch in den siebziger Jahren vergnügte er seine Mitbürger durch humoristische Uebersetzungen geflügelter Worte und Citate, besonders aus dem Lateinischen, und bis an sein Lebensende war es ihm ein Genuss, *Cicero*, *Seneca*, *Livius*, *Xenophon*, *Herodot* und andere Klassiker zu lesen, wie auch *Goethes* Faust und Tasso zu seinen Lieblingsbüchern gehörten.

2.

Etwa sieben Stunden von Heilbronn, im schönsten Teile des Jagstthals, liegt das ehemalige Kloster Schönthal, dessen Umgebung reich an Erinnerungen an das noch heute daselbst ansässige Geschlecht derer *von Berlichingen* ist. In den ausgedehnten Klostergebäuden hat eines der vier evangelisch-theologischen Vorbereitungsseminare Württembergs Aufnahme gefunden. Da ein vertrauer Gespiele *Mayers*, *Gustav Rümelin* [1]), im Herbste 1828 in dieses Seminar eingetreten war, so kam *Mayer* mehrfach zu Besuch dahin, das Leben der Zöglinge gefiel ihm, und trotz des Widerstrebens der um ihren Jüngsten besonders besorgten Mutter wusste es *Mayer* bei dem Vater durchzusetzen, dass er seinem Freunde *Rümelin* folgen durfte. Im Frühjahr 1829 trat der künftige Mediziner als Hospes in das theologische Seminar Schönthal ein.

Beim Abgange *Mayers* vom Gymnasium zu Heilbronn schrieb Rector *Tscherning* folgenden Vermerk ins Schülerverzeichnis: „Den 23. Mai 1829 nahm der Sextaner *Robert Mayer* von hier Abschied, um in Schönthal als Hospes seine Studien weiter zu persequieren. Er wurde mit Erlaubnis des königlichen Studienraths nur auf eine Probe dahin entlassen, weil der Vater, Apotheker *Mayer,* als Grund dieses Entschlusses Mangel an Fleiss und Eifer seines Sohnes bei seinen Studien und von seiner Seite das Unvermögen, denselben gehörig zu beaufsichtigen, in seiner Bittschrift an den königlichen Studienrath angeführt hatte.“

[1]) Der nachmalige Abgeordnete zum Frankfurter Parlament, Chef des württembergischen Kultdepartements und Kanzler der Universität Tübingen.

In Schönthal fand nun *Mayer* zunächst freilich nicht alles so, wie es seinen Empfindungen entsprochen hätte. *Rümelin* schreibt darüber [1]): „Die exklusive Freundschaft, wie sie in Heilbronn bestanden hatte, und von ihm erwartet war, liess sich nicht wieder herstellen, und es kam darüber zu kleinen Verstimmungen und mündlichen wie schriftlichen Auseinandersetzungen von höchst schwärmerischem Charakter. Seinem Wesen entsprach, mit Einem zusammenzuleben oder mit Vielen und Allen, aber nicht im geschlossenen Kreise mit Wenigen, und ich konnte mich von den neugewonnenen Freunden nicht wieder trennen.“ Eine der erwähnten schriftlichen Auseinandersetzungen lag dem Herausgeber als ältestes Manuskript *Mayers* im Wortlaute vor [2]). Hier ist der Inhalt:

„Was die Schuld unserer Trennung trägt, vermag ich nicht zu sagen, ich weiss bloss, dass ich am Ende des vorigen Halbjahrs nur zu deutlich mir sagen musste: das schöne Band ist aufgehoben, das Band, das mich mit dem Teuersten, was ich in diesem Leben besitze, verknüpfte; wie mich dieser Gedanke quält, kann ich nicht aussprechen; ich hielt meine Verstandesschwachheit für die Ursache; konnte Dir es nicht übelnehmen, dass Du Dich an Vorzüglichere haltest; ich verfluchte mich, Gott, und die ganze Welt; aber, das kann ich Dich bei allem was mir heilig ist versichern, dass Du mir immer gleich teuer bleibst, dass ich Dich immer mit gleichem Herzen liebte, und dass ich nichts Unrechtes gethan zu haben glaubte. Habe ich Dich aber ohne Wissen beleidigt, so vergib mir! und erneuere wieder das schöne Band der Freundschaft; ich bin und bleibe ewig der Deine; und werde mich nie von Dir trennen, ginge es auch bis an der Welt Ende, — es kommt dies aus dem Tiefsten meines Herzens. —

Ewig der Deine.“

Rümelin bemerkt weiter: „Die Sache kam schliesslich in

---

[1]) *Rümelin*, Reden und Aufsätze. Neue Folge. Freiburg und Tübingen 1881 (Erinnerungen an *Robert Mayer*.) S. 361.

[2]) *Rümelin* hat auf das (im Besitze seines Sohnes *Gustav* befindliche) Manuskript gesetzt: „Von *Robert Mayer*, Schönthal, Herbst 1829?“ Das *Mayer*sche Manuskript selbst trägt weder Unterschrift noch Datum und sollte wohl nur dazu dienen, etwas Peinliches lieber schriftlich als mündlich auszudrücken.

ein richtiges Geleise, und wir blieben uns für immer in treuer Zuneigung verbunden."

Mayer wohnte fast die ganze Schönthaler Zeit im Hause des Professors *Wilhelm Klaiber*, welcher *Wilhelm Hauffs* Schwester *Sophie* zur Frau hatte. Der Aufenthalt in dieser feingebildeten, liebenswürdigen Familie gehörte zu den glücklichsten Abschnitten in *Mayers* Leben. *Rümelin* gibt im Hinblicke auf jene Zeit folgende Charakteristik von ihm: „Er war ebenso beliebt und beachtet bei den Lehrern wie bei den Mitschülern. Er gab sich stets ganz wie er war; es kam kein unwahres Wort aus seinem Munde; er hatte eine volle und freudige Anerkennung für fremde Vorzüge und trat niemanden zu nahe. Er war nach seiner Gemütsart eine *anima candida* zu nennen. Aber alles, was er sagte und that, trug den Stempel der Originalität. Sein Gedankengang, der ganz logisch war, bei dem er aber die verbindenden Mittelglieder übersprang oder unausgesprochen liess, war stets überraschend und oft verblüffend; bis man den Faden gefunden hatte, war er wieder wo anders angekommen. Und da es an Witz und gutem Humor nicht fehlte, so war seine Unterhaltung stets ergötzlich; an Citaten und Sentenzen aus Bibel und Gesangbuch, aus Sprichwörtern, Dichtern und alten Autoren war er unerschöpflich und wusste sie anzubringen, wo sonst kein Mensch an sie gedacht hätte. Manche sahen ihn stets verwundert und erwartungsvoll an und lachten über jedes Wort, das er sprach. Einigen war ein solches Feuerwerk von Gedankensprüngen unbehaglich."

Im Unterricht freilich reüssierte *Mayer* in Schönthal nicht besser als in Heilbronn. Seine Gaben wurden dauernd auf „ziemlich gut" taxiert, zeitweise nahm er Locus 37 unter 38 ein, in Sprachen vermochte er sich nur von „gering" auf „mittelmässig bis sehr mittelmässig" zu erheben, in Mathematik jedoch brachte er es schliesslich auf die höchste Note: „recht gut". Fleiss und Sitten anhaltend „gut" [1]).

Bald nahm der Jüngling auch lebhaften Anteil an den freiheitlichen Bestrebungen seiner Zeit, begeisterte sich für die Julirevolution und die Sache Polens und geriet in Entrüstung über die nachfolgenden Unterdrückungen. Am 13. März 1832

---

[1]) Die vollständigen Schönthaler Zeugnisse finden sich in „Kleinere Schriften und Briefe", Vorbemerkungen zu II.

schrieb er an *Paul Lang* [1]), an welchen er sich in Schönthal besonders enge angeschlossen hatte: „O wäre ich nur unter den Studenten in Tübingen, die wegen dem Beitritt zu dem Verein für deutsche Pressfreiheit bereits teilweise relegiert worden sein sollen, o wäre ich nur unter den im Julius Gefallenen. Dies mein voller Ernst, Du hast hier mein unabänderliches Glaubensbekenntniss mit der Offenheit, die ich gewohnt bin."

3.

Nach bestandener Maturitätsprüfung bezog *Mayer* im Frühjahr 1832 als Studiosus Medicinae die Universität Tübingen. Sein Vater, welcher es ihm hier wie in der Folge an nichts fehlen liess, gab ihm durch Eintrag ins Stammbuch am 7. März 1832 die Lehre mit auf den Weg:

„Bist Du Herr Deiner selbst geworden,
Dann lebst Du frei und unabhängig aller Orten."

Robert Mayer scheint diesem Rate besondere Bedeutung beigelegt zu haben, da das betreffende Albumblatt noch bei seinem Tode, 46 Jahre später, eingerahmt über seinem Schreibtische hing. Die Familie hat das Studierzimmer pietätvoll in dem damaligen Zustande belassen.

Auf der Hochschule widmete sich *Mayer* ausschliesslich Fachstudien, ohne die studentischen Zerstreuungen zu vergessen. Er belegte zahlreiche anatomische und klinische Kurse, zeigte aber stets Vorliebe für selbständiges Durchdringen und Ausprobieren. Philosophie liess er ganz unbeachtet und selbst Mathematik, welcher er später den ersten Rang unter den Wissenschaften einräumte, kommt nicht unter seinen Kollegien vor. Physik hörte er im ersten Semester bei einem Privatdozenten, da der Lehrstuhl für Physik gerade erledigt war, doch scheint er keine gute Erfahrung damit gemacht zu haben; denn 1851 nennt er die elementare Physik eine „Halbwisserei," deren Grundbegriffe und Lehrsätze man beim Eintreten in die höhere Wissenschaft so schnell als möglich zu vergessen suchen müsse.

Wie der Knabe, so zeichnete sich der Student durch Ausdauer im Ertragen körperlicher Anstrengungen aus. Beim Baden

---

[1]) Vergleiche Jugendbriefe an *Lang*, „Kleinere Schriften und Briefe", I 1.

im Neckar gelang es ihm, mit eigener Lebensgefahr einen Freund (den nachmaligen Pfarrer *Wenz*) zu retten, welcher schon das Bewusstsein verloren hatte. Er wäre, sagt *Rümelin*, mit *Leander* oder *Byron* um die Wette über den Hellespont geschwommen oder mit *Phidippides* von Athen nach Sparta gelaufen.

In höheren Semestern gründete *Mayer* mit einigen Kommilitonen das Corps *Guestphalia*, dem er sich mit grossem Eifer widmete; 1836 löste sich das Corps formell wieder auf, um den damals vom Deutschen Bundestage gegen die Studentenverbindungen veranlassten Verfolgungen zu entgehen. Da sich jedoch bei einem Ausritte, um Ostern 1837, zu Ehren scheidender Corpsbrüder, zu welchen auch *Mayer* gehörte, gezeigt hatte, dass das Corps im geheimen weiter existierte, so brach ein allgemeines Strafgericht aus. *Mayer* erhielt nach längerem Untersuchungsarrest das consilium abeundi auf ein Jahr, ähnlich erging es *Wilhelm Griesinger* (dem späteren berühmten Psychiater) und den übrigen Stiftern und Chargierten.

Während des Arrests lehnte *Mayer* jede Speise ab, trank nur Wasser und klagte über Kongestionen, so dass man ihm auf Verlangen zweimal zur Ader liess. Als er auch am sechsten Tage noch auf seiner Weigerung beharrte, wurde er aus dem Karzer in seine Wohnung gebracht, wo er drei Tage Hausarrest hatte. Der ihm zugesandt gewesene Arzt berichtete an das Universitätsamt, „dass *Mayer* nach den sonstigen Umständen nicht völlig als geisteskrank angesehen werden könne, jedoch sich in einem Zustande befinde, der sehr leicht dahin übergehen könne. Diesem entspreche auch die Ansicht aller derer, die *Mayer* schon lange kennen, und behaupten, dass er bei jedem ihm widrigen Vorfall höchst aufgeregt und in einen zweideutigen Zustand versetzt werden könne“. *Rümelin*, der *Mayer* wohl am längsten kannte und diesen Vorgang nach den Akten erzählt, erklärt, der vorstehenden Fassung des ärztlichen Urteils für die damalige Zeit nicht zustimmen zu können; dasselbe beweist, wie leicht man damals mit der Bezeichnung „geisteskrank“ zur Hand war. In den Berichten ans Ministerium war *Mayer* als „im besten Prädikat stehend“ und „völlig glaubwürdig“ bezeichnet, er hatte alles ihn Betreffende zugestanden, über andre aber jede Auskunft verweigert.

Mayer verliess Tübingen, wie er es nach zehnsemestrigem Studium ohnehin beabsichtigt hatte, besuchte die Kliniken von

München und Wien, kehrte aber schon im Januar 1838 mit besonderer Erlaubnis zurück, um die erste medizinische Prüfung abzulegen und promovierte dann als Doktor der Medizin und Chirurgie. Seine Dissertation vom Juli 1838 „Ueber das Santonin“ behandelt die arzneiliche Wirkung dieses Stoffes, welcher wenige Jahre vorher im Wurmsamen entdeckt und 1833 erstmals in grösseren Mengen hergestellt worden war [1]). *Mayer* sagte dem Santonin baldige allgemeine Verwendung voraus und die Folge hat ihm recht gegeben. Noch im Sommer 1838 bestand *Mayer* in Stuttgart die medizinische Hauptprüfung mit der guten Note IIa, wobei seine schriftlichen Arbeiten als „gründliche Kenntnisse und selbständiges Urteil verratend“ bezeichnet wurden. In Chemie erhielt er die beste Note.

4.

Nach dem Abgange von Tübingen, im Sommer 1837, hatte *Mayer* eine kurze Reise in die Schweiz unternommen, von wo er „die Nutzanwendung mitbrachte: a) dass es zum Teil sehr schön auf dieser Welt sei, b) dass es sehr geraten sei, die kurze Zeit, die uns auf diesem Planeten zu sein gegeben ist, weislich zu benutzen, uns auf demselben so viel möglich umzusehen“. Bald darauf erfahren wir zum erstenmal von seinem Plane, als Arzt in den niederländischen Kolonialdienst zu treten, worüber er nach Aufzählen der ungünstigen Seiten desselben im Oktober 1837 an *Lang* schreibt:

„Doch das Gute überwiegt bei mir bei weitem alle diese Fatalitäten: die sehr interessante Seereise, die vielen Länder, Inseln und Völker, die Möglichkeit eines nicht unbedeutenden Gewinnes, aber weit mehr als dieses, dass ich auf diese Art nicht nötig habe, als angehendes Doktorlein in meinem Vaterlande eine geringe Rolle zu spielen, dass ich Gelegenheit habe, die menschliche Natur im gesunden und kranken Zustand sowohl, als die Natur überhaupt von einem sehr allseitigen Standpunkt kennen zu lernen, und daraus die Hoffnung einer ehrenvollen Existenz als praktischer Arzt in meiner Vaterstadt. Wenn ich das Glück habe durchzukommen, will ich nämlich noch ein

---

[1]) Die Dissertation ist abgedruckt in „Kleinere Schriften und Briefe“ unter II.

halbes Jahr etwa studieren und zwar trotz der *Guestphalia* nicht in Tübingen, sondern etwa in Paris, um durch den Besuch der Spitäler mich wieder in die Krankheiten unserer Zone hineinzuarbeiten. Dies sind im Allgemeinen die wohl erwogenen Gründe, die mich bis jetzt bei meinem Vorhaben gehalten haben."

Die vorbereitenden Schritte brachten jedoch nur langsame Förderung der Sache, auch machten die Eltern mehr und mehr Schwierigkeiten, wodurch der Entschluss *Mayers* noch weiter gefestigt wurde. Nach Ablegung der Prüfungen in Tübingen und Stuttgart begann er zwar als Arzt in Heilbronn zu praktizieren, benutzte aber die reichlich verbleibende Musse um Holländisch zu lernen, im Französischen weiter zu kommen und andre Vorbereitungen für die Ausführung seines Planes zu treffen. Im Februar 1839 schrieb er an *Lang:* „Ihr Theologen habt es gut, ihr legt euch jeden Abend mit dem Bewusstsein der erfüllten Amtspflicht harmlos nieder; die ganze Welt arbeitet und das verdiente Brot schmeckt allein süss, — darum, ehe ich mit lebendigem Leibe verfaule in Unthätigkeit (d. h. ohne eine meine Zeit ganz in Anspruch nehmende praktische Beschäftigung) laufe ich lieber mit kaltem Blute dem Teufel barfuss zu."

Endlich erhielt *Mayer* die amtliche Aufforderung aus dem Haag, sich am 15. Juni 1839 zu stellen. Nachdem er die vorgeschriebene Prüfung bestanden hatte, empfing er das Patent als Sanitätsoffizier. Durch einen „unangenehmen Zufall" wurde jedoch die Abreise *Mayers* hinausgeschoben und er begab sich im Herbst 1839 nach Paris, um seine medizinischen Studien zu vervollständigen. Das Leben in der Weltstadt machte einen mächtigen Eindruck auf ihn. Er traf dort mit seinen Tübinger Studiengenossen *Griesinger, Roser, Wunderlich* zusammen und lernte in *Carl Baur* einen schwäbischen Landsmann kennen, welcher ihm dereinst bei der Festigung und Anwendung seiner grundlegenden Anschauungen nützlich werden sollte.

Mayer wohnte mit *Baur* und *Roser* im *Quartier latin*, rue de la Sorbonne 3. Nach der Erinnerung *Baurs* besuchte er vorwiegend die Demonstrationen der Professoren am Krankenbette und im Operationssaal, ohne rein naturwissenschaftliche Zwecke zu verfolgen. Auch in der Unterhaltung mit *Baur,* der Mathematik und Naturwissenschaften studierte, trat keine Vorliebe für diese Gebiete hervor. „Seinem kombinatorischen Scharfsinn liess er dagegen freien Lauf in der Liebhaberei für figür-

liche und Kartenkunststücke, in Auflösung von Rätseln und Rebus, in schlagenden Witzworten und feinen Meidingern. — Seine Neigung zu feiner und scharfer Satire vertrug sich ohne Widerspruch mit einem warmen Herzen, das er als zuverlässiger, aufopferungsfähiger Freund seinen Freunden entgegentrug."

Anfangs 1840 sollte *Mayer* als Schiffsarzt des holländischen Dreimasters „Java", einem Segelschiffe der Handelsflotte, nach Batavia abgehen.

5.

Die Reise nach Ostindien war für *Mayer* von entscheidender Bedeutung. Auf ihr wurde er mit der physiologischen Verbrennungstheorie vertraut, welche den Ausgangspunkt für die Errichtung seines Lehrgebäudes bildete, auf ihr empfing er die wichtigen Anregungen, welche zu den ersten epochemachenden Schlüssen führten, auf ihr entwickelten sich in seinem Geiste die weltumfassenden Anschauungen, welche wir heute mit dem *Prinzip von der Erhaltung der Energie* verbinden.

Mayer verliess Paris am 14. Februar 1840 und traf nach zweitägiger Reise über Brüssel und Antwerpen in Rotterdam ein, wo er am 22. Februar an Bord ging. Andern Morgens in der Frühe wurden die Anker gelichtet. „Der herrlich reine Himmel mit den funkelnden Sternen, dem Monde im letzten Viertel und der nun bald sichtbaren Röte des anbrechenden Tages, die Stille des breiten Stromes im Angesichte der Stadt und der entscheidende Augenblick der Abreise gaben diesem Sonntagmorgen einen erhabenen, ergreifenden Eindruck."

Die Verhältnisse auf dem Schiffe erwiesen sich jedoch bald derart, dass *Mayer* bei dem Streben nach geistiger Anregung auf die Natur und seine Bücher angewiesen war. Mit letzteren hatte er sich reichlich versehen. Kapitän *Zeeman* war ein Mann von beschränktem Gesichtskreise, dessen etwas derbes und launisches Wesen eine Annäherung nicht immer rätlich erscheinen liess, mit den beiden Steuermännern blieb der Verkehr auf alltägliche Dinge beschränkt, Passagiere hatten sich keine eingefunden, das Schiffsvolk war ohne jedes höhere Interesse. Die ganze Equipage bestand aus 28 Personen von guter Gesundheit, welche den Schiffsarzt zwar möglichst oft, aber nicht nachhaltig in Anspruch nahmen.

So bildete sich bald für *Mayer* folgende Tagesordnung

heraus. Aufstehen etwas vor 7 Uhr morgens, Gang aufs Verdeck, gegen 8 Uhr Nachsehen in der Hütte der Matrosen, Anfertigung etwa nötiger Arzneien, um halb 9 Uhr Frühstück, sodann eine Stunde Spaziergang auf dem Verdeck und wissenschaftliche Beschäftigung bis zwischen 12 und 1 Uhr, wieder aufs Verdeck und gelegentliches Lesen in einer Unterhaltungsschrift, um 3 Uhr Mittagsmahl, wonach einige Stündchen Rauchen und Lesen auf dem Verdeck, von 6 Uhr an wissenschaftliche Thätigkeit bis zum Abendessen um halb 8 Uhr, hierauf irgendwelche Unterhaltung, Zurruhegehen zwischen 9 und halb 10 Uhr. — Für seine Dienste erhielt *Mayer* neben freier Verpflegung monatlich 50 Gulden (85,7 Mark).

Die Reise, bei welcher mehr als in unserer Zeit der Ozeandampfer auf Wind und Meeresströmungen Rücksicht zu nehmen war, ging von Rotterdam aus durch den Kanal und den Atlantischen Ozean, der Küste von Portugal entlang, an den Kanarischen Inseln und dem grünen Vorgebirge vorbei, die Insel Ascension östlich lassend, in grossem Bogen gegen Südamerika ausholend, um die Südspitze von Afrika, durch den Indischen Ozean auf Java los, wo nach der Fahrt durch die Sundastrasse zunächst in Batavia und später in Surabaya und Samarang vor Anker gegangen wurde. An Stelle der mitgebrachten Backsteine nahm das Schiff auf Java Kolonialprodukte ein.

Auf der ganzen Seereise von Hellevoetsluis in Holland bis Batavia, das heisst in 101 Tagen, wurde nicht einmal angelegt, mehrfach sah man wochenlang kein Schiff und einmal während 67 Tagen kein Land. Den meisten Menschen würde ein so einförmiges Leben auf die Dauer zuwider geworden sein, *Mayer* aber schreibt am 10. Mai 1840: „Eine harmlose Gemütsruhe der ich mich nun seit längerer Zeit erfreue, und die mich zu wissenschaftlicher Beschäftigung vorzugsweise disponiert, lässt mich auch in Dürftigkeit und in Entfernung von jedem gleichgestimmten Wesen die Tage fröhlich durchleben, von denen keiner sonder Interesse vorübergeht.“

In der That brachte er allem, was um ihn her vorging, eingehendes Interesse entgegen; etwas schwimmendes Seegras erweckt den Gedanken an dessen Herkunft, die auftretenden Fisch- und Vogelarten werden genau beobachtet, der Kurs des Schiffes mit Rücksicht auf seine Bedingungen verfolgt und allabendlich der gestirnte Himmel mit der Sternkarte verglichen.

„Dann suche ich vor allem des Vaters Lieblingsgestirn, den grossen Wagen, denke, dass er ihn vielleicht jetzt auch betrachtet, und rufe ihm freundliche Grüsse für die Lieben in der Heimat zu. Der, der alle diese Sterne lenkt, wird auch unser Schicksal liebevoll leiten.“

Eines Tages bemerkte der Steuermann *Mayer*, dass vom Sturme gepeitschte Wellen wärmer als ruhiges Seewasser seien[1]). Woher kommt hier die Erwärmung? „Ex nihilo nihil fit.“

Zu der guten Stimmung *Mayers* fast auf der ganzen Reise trug sein körperliches Wohlbefinden nicht wenig bei. Schon am 25. März schreibt er: „Meine Gesundheit lässt nichts zu wünschen übrig, beurkundet durch gesunden Schlaf, frohen Mut und vortreffliche Verdauung“, und am 8. Juni: „Die ganze Reise hat auf meinen Geist den vorteilhaftesten Eindruck gemacht und namentlich auch meine Gesundheit lässt gar nichts zu wünschen übrig,“ sowie am 22. Juni von Batavia: „Meine an sich feste Gesundheit wird durch Selbstbeherrschung, worin ich viel avanciert bin, noch mehr aufrecht erhalten.“ Leider gestattete die übertriebene Sparsamkeit des Kapitäns nicht immer, den Erfordernissen jener Verdauung gerecht zu werden.

Zeitweise wurde die Stimmung *Mayers* durch Sorgen um seine Angehörigen getrübt, mit welchen ihn eine fast schwärmerische Liebe verband. Am 10. April schreibt er: „Düstere Gedanken, schwere Sorgen, die sich um das geheiligte Haupt meines Vaters konzentrieren, drücken heute mehr als je auf meine Seele.“

6.

Endlich, am Pfingstmontage des Jahres 1840, den 8. Juni früh 7 Uhr, tauchte die Südwestspitze von Java aus der Flut empor: „Da wir mit herrlichem Winde segelten, so waren wir in zwei Stunden schon so nahe, dass das herrliche Grün und die hohen Bäume, unter denen einige mit doldenförmiger Krone, Lotospalmen, hoch emporragten, deutlich unterscheidbar waren. Welch' Entzücken ein solcher Anblick nach 98tägiger Seefahrt erregte, lässt sich nicht beschreiben. Dank, Liebe, Sehnsucht erfüllten mein Herz, und die Hoffnung, alle meine Lieben gesund und glücklich wieder zu finden, sprach lauter als je.“

---

[1]) „Kleinere Schriften und Briefe“, VI 5 und XIX 1.

Mit solchen Empfindungen fuhr *Mayer* dem Lande entgegen, in welchem das „Grundgesetz der Natur“ in seinem Geiste ausgelöst werden sollte, sie begleiteten ihn durch die Sundastrasse der Reede von Batavia zu.

Einige Tage nach der Ankunft in Batavia verbreitete sich unter dem Schiffsvolk eine akute Affektion der Lungen. *Mayer* sah sich zu häufigen Aderlässen veranlasst und beobachtete dabei, dass das aus der Armvene entnommene Blut eine auffallend hellrote Färbung zeigte, so dass er glauben konnte, eine Arterie getroffen zu haben. Die deutschen Aerzte in Batavia erklärten dies für eine bekannte Erscheinung, welche bei Einheimischen wie Fremden auftrete. *Mayers* Nachdenken war schon durch die in den Tropen veränderten somatischen Verhältnisse der Schiffsmannschaft angeregt worden, die Krankheitsformen und besonders die Beschaffenheit des Blutes lenkten seine Gedanken in erster Linie auf die Erzeugung der animalischen Wärme durch den Respirationsprozess.

„Will man nun über physiologische Punkte klar werden, so ist Kenntnis physikalischer Vorgänge unerlässlich, wenn man es nicht vorzieht, von metaphysischer Seite her die Sache zu bearbeiten, was mich unendlich disgoutiert; ich hielt mich also an die Physik und hing dem Gegenstande mit solcher Vorliebe nach, dass ich, worüber mich mancher auslachen mag, wenig nach dem fernen Weltteil fragte, sondern mich am liebsten an Bord aufhielt, wo ich unausgesetzt arbeiten konnte, und wo ich mich in manchen Stunden gleichsam inspiriert fühlte, wie ich mich zuvor oder später nie etwas Aehnlichen erinnern kann. Einige Gedankenblitze, die mich, es war auf der Reede von Surabaya, durchfuhren, wurden sofort emsig weiter verfolgt und führten wieder auf neue Gegenstände [1]).“

„Von der Theorie *Lavoisiers* ausgehend, nach welcher die animalische Wärme das Resultat eines Verbrennungsprozesses ist, betrachtete ich die doppelte Farbenänderung, welche das Blut in den Haargefässen des kleinen und grossen Kreislaufes erleidet, als ein sinnlich wahrnehmbares Zeichen, als den sichtbaren Reflex einer mit dem Blute vor sich gehenden Oxydation. Zur Erhaltung einer gleichförmigen Temperatur des menschlichen Körpers

---

[1]) Brief an *Griesinger* vom 14. Juni 1844. Siehe „Kleinere Schriften und Briefe“, VII 8.

muss die Wärmeentwickelung in demselben mit einem Wärmeverluste, also auch mit der Temperatur des umgebenden Mediums notwendig in einer Grössenbeziehung stehen, und es muss daher sowohl die Wärmeproduktion und der Oxydationsprozess, als auch der Farbenunterschied beider Blutarten im ganzen in der heissen Zone geringer sein als in kälteren Gegenden [1])."

Das war der Ausgangspunkt. Im weiteren verglich *Mayer* den Aufwand von oxydiertem Material mit der Wärmeentwickelung. „Diese letztere geht aber auf zweierlei Weise vor sich, indem der Tierkörper teils Wärme direkt in seinem Innern entwickelt und durch Mitteilung an seine Umgebung wieder absetzt, teils aber auch vermöge seiner Bewegungsapparate die Fähigkeit besitzt, Wärme auf mechanischem Wege, durch Reibung und dergleichen, selbst an entfernten Orten zu erzeugen. Nun ist zu wissen nötig: ob die direkt entwickelte Wärme allein oder ob die Summe der auf direktem und indirektem Wege entwickelten Wärmemengen auf Rechnung des Verbrennungsprozesses zu bringen ist?" Dieser Gedanke musste *Mayer* zur Aequivalenz von Wärme und mechanischer Leistung führen,

Mayer hatte über die Hinreise nach Java ein regelmässiges Tagebuch geführt [2]). In den geringfügigen Notizen über den Aufenthalt auf der langersehnten Insel und dann vollständigem Abbrechen spiegelt sich die ausschliessliche Beschäftigung mit den gewonnenen Anschauungen. Am 27. September 1840 begann die Heimreise, welche *Mayer* nach 121tägiger Seefahrt wieder nach den Niederlanden brachte. Von hier aus kehrte er im Februar 1841 direkt nach seiner Vaterstadt Heilbronn zurück.

7.

Mayer war bei seinen Schlüssen von physiologischen Beobachtungen ausgegangen. Die hierbei als richtig erkannten Grundsätze rückwärts weiter verfolgend, wurde er in die Gebiete der Physik und Chemie geführt, auf welchen er sich zunächst festzusetzen suchte. Hier überraschte ihn nun die Thatsache, dass zwar in der Chemie der ursächliche Zusammenhang zwischen

---

[1]) Bemerkungen über das mechanische Aequivalent der Wärme; in diesem Bande unter IV.

[2]) Dasselbe ist in „Kleinere Schriften und Briefe" unter II publiziert.

verschwindenden und entstehenden Objekten (Materien) überall als selbstverständlich galt, während in der Physik „der rote Faden“ an tausend Stellen unterbrochen war, dass Ursachen ohne Wirkungen und Wirkungen ohne Ursachen vorgeführt wurden. „Es ist von jeher sanktioniert, anzunehmen: die Bewegung hört bei der Reibung etc. zu sein auf. Dass dabei Wärme zu Tage kommt, weiss jedes Schulkind; die Wissenschaft begnügt sich inzwischen mit dem Faktum und stellt mit Resignation das Axiom auf, dass die Reibungswärme unerklärbar sei.“ Wenn aber nicht Bewegung zu Nichts werden und Wärme aus Nichts entstehen soll, so muss die bei der Ueberwindung von Widerständen gebildete Wärme das Aequivalent der aufhörenden Bewegung sein, es muss ein festes Verhältnis zwischen Wärme und Bewegung bestehen.

Dieselben Gesichtspunkte bei allen Veränderungen in der Natur festhaltend, eröffnete sich *Mayer* „eine Welt von neuen Wahrheiten“. Er erkannte, dass in der Natur keine Ursache mechanischer Vorgänge verloren geht, sondern jede in einer gleichwertigen Wirkung fortbesteht, welche ihrerseits wieder als Ursache für neue Wirkungen dienen kann, dass Ursache und Wirkung wie in der Chemie so auch in der Physik nichts weiter als verschiedene Erscheinungsformen eines und desselben Objektes sind, und dieses als Bewegung, Wärme, Elektrizität, chemische Differenz oder räumliches Getrenntsein (potentielle Energie) auftreten kann[1]).

In demselben Jahre, in welchem *Mayer* mit steter Berufung auf die Chemie die Physik reformierte, schrieb *Liebig* über die Erneuerung der Chemie durch Festhalten der quantitativen Unveränderlichkeit des Stoffs: „Durch die Uebertragung der Methoden, welche die Physiker seit Jahrhunderten in der Ermittelung der Ursachen der Naturerscheinungen befolgen, ist von *Lavoisier* der Grundstein einer neuen Wissenschaft gelegt worden, welche durch die Pflege ausgezeichneter Männer in ausserordentlich kurzer Zeit einen hohen Grad von Vollendung erhalten hat.“ So bestärkten sich Physik und Chemie in dem Wandel auf gleichen Bahnen.

Vor allem kam es nun *Mayer* darauf an, die Aequivalenz von Wärme und Bewegung zahlenmässig darzuthun, und hierbei

---

[1]) Die immer gleichbleibende Ursache und Wirkung (bei *Mayer* „Kraft“) wird jetzt allgemein „Energie“ genannt.

geriet er zunächst auf Abwege. Aus den unklaren Darstellungen damaliger Lehrbücher glaubte der in den Anschauungen der Mechaniker und Physiker noch unbewanderte junge Arzt entnehmen zu müssen, dass die Bewegungsgrösse mc, anstatt der lebendigen Kraft $\frac{mc^2}{2}$, als Mass der Bewegung zu gelten habe. Da aber für den Wert von mc die Richtung der Geschwindigkeit c in Frage kommt, und *Mayer* anfangs nicht nur die Quantität, sondern auch die Qualität der verschiedenen „Kraftformen“ mathematisch verfolgen zu können glaubte, so wurde er in ein „Labyrinth“ willkürlicher Annahmen geführt, welche in einer ersten für die Oeffentlichkeit bestimmt gewesenen Abhandlung zu verfolgen sind [1]), und deren gänzliche Unhaltbarkeit in dem Schlusse gipfelt: „In den Sternsystemen ist demzufolge die für uns unlösliche Aufgabe einer beständigen Kraftentwickelung, d. h. der Differentierung von 0 zu $+mc$ und $-mc$ von der Natur gelöst; die Frucht davon ist das herrlichste der materiellen Welt, die ewige Quelle des Lichts.“

Robert Mayer, welcher die Grundanschauung des Prinzips von der Erhaltung der Energie, die quantitative Unveränderlichkeit der mechanischen Ursache und Wirkung, bereits erfasst hatte, kam also infolge unrichtiger Wahl des Masses einer Energieform zunächst zu Resultaten, welche nach seiner späteren geläuterten Auffassung eine Erzeugung von Energie aus Nichts bedeuten würde. Der Fall steht selbst im Gebiete der Wärmelehre nicht vereinzelt da. *Carnot,* welcher bei seinen epochemachenden Untersuchungen über die bewegende Kraft der Wärme von der Unmöglichkeit eines *perpetuum mobile* ausging, gelangte infolge der Behandlung der Wärme wie eines Stoffs zu Ergebnissen, welche ein *perpetuum mobile* ermöglichen würden, da die Wärme beim Uebergang von höherer zu niederer Temperatur, ohne selbst abzunehmen, Arbeit leisten sollte.

Am 16. Juni 1841 schickte *Mayer* seinen Aufsatz, in welchem die richtigen Grundanschauungen durch das hypothetische Beiwerk sehr in den Hintergrund gedrängt waren, an die Redaktion von *Poggendorffs* Annalen der Physik und Chemie, mit der Bitte, ihn zu veröffentlichen, oder, wenn kein Gebrauch davon gemacht werden sollte, das Manuskript zurückzusenden.

---

[1]) Man findet dieselbe in „Kleinere Schriften und Briefe“ unter V.

Es kam aber überhaupt keine Antwort, und selbst nachdem *Mayer* noch zweimal geschrieben und sein Manuskript reklamiert hatte, liess weder die Redaktion noch der Herausgeber *Poggendorff* etwas von sich hören. 36 Jahre später wurde das Manuskript in dem litterarischen Nachlasse *Poggendorffs* gefunden [1]).

8.

Indessen hatte *Mayer* immer dringender das Bedürfnis empfunden, mit Sachverständigen über seine Naturanschauung in Verbindung zu treten. Sein Bruder *Fritz*, welcher im Jahre 1832 oder 1833 die väterliche Apotheke übernommen hatte, war sein erster Anhänger. Weiter fand *Mayer* einiges Verständnis bei dem Oberreallehrer *Kehrer* am Heilbronner Gymnasium, der mit dem damals in Tübingen wohnenden Dr. *Carl Baur*, später und noch jetzt Professor der Mathematik und Mechanik an der technischen Hochschule in Stuttgart, über die Sache sprach und *Mayer* hiervon Mitteilung machte. An den ihm von Paris her befreundeten, erst 21jährigen Dr. *Baur* wandte sich nun *Mayer* unmittelbar nach Absendung seiner Abhandlung an *Poggendorffs* Annalen, und es entspann sich ein Briefwechsel, welcher interessante Einblicke in die Entwickelung der *Mayer*schen Lehren gewährt [2]). Der Briefwechsel wurde im Winter 1842 auf 1843, welchen *Baur* als Vertreter der Lehrstelle für Mathematik und Physik am Gymnasium in Heilbronn zubrachte, durch regen persönlichen Verkehr ersetzt.

Die ersten Darlegungen *Mayers* an *Baur* sind vom 24. Juli 1841 datiert [3]). Schon am 1. August schreibt er wieder an ihn: „Da ich gestern *Poggendorffen* brummte, respektive um Zurücksendung meines Artikels bat, so kommt heute nun auch die Reihe an Dich. Du kannst Dir kaum denken, mit welcher Sehnsucht ich erwartete, als ich noch zwischen Himmel und Wasser — ‚unter Larven die einzige fühlende Brust' — hinschwebte, wieder in geistigen Verkehr mit der Mitwelt treten zu können,

---

[1]) Näheres hierüber enthalten die Vorbemerkungen zu „Kleinere Schriften und Briefe", V.

[2]) Derselbe ist in „Kleinere Schriften und Briefe" unter VI publiziert.

[3]) Siehe das beigegebene Facsimile.

und nun scheine ich mir doch nicht viel weniger abgeschlossen zu sein, als damals, als noch die Hoffnung mich umschwebte. Nach meinen Ansichten über Naturwissenschaften sollten meine ausgesprochenen Grundsätze nicht so indifferent sich verhalten, dass sie nicht wenigstens einer Widerlegung wert wären, auch sind es keine Hypothesen, die ich samt und sonders verfluche; sie gehören somit nicht in die Kategorie dessen, ‚was sich weder beweisen noch widerlegen lässt'. Am Schlusse fasst er alles Gesagte in zwei Thesen zusammen: I. „als Axiom — und bei allen tausend Teufeln — nicht als Hypothese: eine Kraft ist nicht weniger unzerstörlich als eine Substanz"; II. „aufhörende Bewegung dauert als Wärme fort."

Ein dritter Brief ging an *Baur* am 8. August; er trug unter dem Datum oben in der Ecke das Citat: „I. Maccab. 12, 18" (die Stelle lautet: „und bitten um Antwort") und schloss: „In der Hoffnung, Du werdest es machen wie der Richter Luc. 18, 5, grüsst Dich herzlich Dein *Mayer*." (Der Richter dachte bei sich selbst: „Dieweil aber diese Witwe mir soviel Mühe machet, will ich sie retten, auf dass sie nicht zuletzt komme und übertäube mich.")

Endlich gegen die Mitte August kam *Baurs* Antwort. Obwohl dieselbe der Auffassung *Mayers* nicht überall zustimmte, erfüllte sie doch *Mayer* mit Genugthuung. *Baur* schrieb unter anderm: „Auch ich sehe mit Abscheu das arge Unwesen an, das man heutzutage mit den Worten Kraft, Bewegung, Wärme, Aether u. s. w. treibt. — Die erste Empfehlung Deiner Theorie musste mir das sein, dass Du Wärme nicht als einen Stoff, nicht als etwas Körperliches, sondern als eine Aktion, als ein Produkt, ansiehst; ferner dass Du sagst, Kraft ist Bewegung und nicht Ursache der Bewegung. — Neu und frappant aber war mir Deine Zusammenstellung der Bewegung und der Wärme, und die Vergleichung, die Du zwischen der chemischen Neutralisation der Elemente und der mechanischen Aufhebung der entgegengesetzten Kräfte anstellst, leuchtete mir sofort ein."

In einem Briefe vom 16. August 1841 suchte *Mayer Baur* noch weiter für seine Ansichten zu gewinnen. Obschon er über das Mass der verschiedenen „Kraftformen" noch nicht zu abgeschlossener Ueberzeugung gelangt war, lässt er doch die Hauptsache nicht aus dem Auge. „Mein erstes Bestreben ist nun, die Achse, um welche sich die Lehre von den Materien dreht,

auch für die Lehre von den Kräften zu gewinnen; daher datiert sich das Axiom von der unveränderlichen Quantität der Kräfte. Sehr einfach werden die physikalischen Gesetze dadurch, dass, wonach man sich in der Chemie vergebens sehnt, ihre Objekte, die verschiedenen Kräfte, sich aufeinander zurückführen lassen; wie erfreut war ich, als ich dieses Resultat, Isomerie der Kräfte, nach und nach auffand.“ Schliesslich bat *Mayer* angesichts des Verhaltens von *Poggendorff* um *Baurs* Rat.

Baur erkannte in seiner Erwiderung vom 16. September 1841 an, dass die Hauptaufgabe *Mayers*, „die Verwandlung der Zustände in Bewegung und der Bewegung in Wärme zu erklären, — das Lebensprinzip der ganzen Physik, — auf dem besten Wege zu ihrer Lösung“ sei, er erbot sich, mit einem Tübinger Buchhändler wegen Herausgabe des *Mayer*schen Aufsatzes zu sprechen, hielt es aber für das Beste, dass *Mayer* zu mündlichem Gedankenaustausche nach Tübingen komme.

9.

Mayer begab sich sofort nach Tübingen und wurde hier von *Baur* bei dem Professor der Physik an der Universität, Dr. *Nörremberg* eingeführt, welcher als tüchtiger Lehrer und guter Experimentator galt. Die Darlegungen *Mayers* machten auf *Nörremberg* nicht den gewünschten Eindruck. Er hielt *Mayer* entgegen: „Das sind im Grunde nichts als neue Ansichten von Dingen, die man ebensogut auch anders ansehen kann; ja wenn Sie ein neues Experiment auf Ihre Theorie gründen können, dann, dann ist Ihre Sache gemacht.“ Als ein solches Experiment bezeichnete *Nörremberg* den Nachweis, dass sich Flüssigkeiten durch Schütteln erwärmen lassen. *Mayer*, welcher den Einfluss der Bewegung auf das Meerwasser schon von seiner Reise nach Java her kannte (5) und denselben schon vor dem Besuche bei *Nörremberg* zu Gunsten seiner Theorie ins Feld geführt hatte [1]), machte den Versuch nach seiner Rückkehr von Tübingen wiederholt und stets gelang er vollkommen.

Auch mit *Rümelin* sprach *Mayer* über seine Lehren, der unter anderm wie folgt berichtet: „Ich war im Herbst 1841

---

[1]) Man sehe den Brief an *Baur* vom 16. August 1841, „Kleinere Schriften und Briefe“, VI 5.

viel mit ihm zusammen, und es war damals schwer, mit ihm von etwas andrem zu reden als von dieser Sache. Er wusste, dass mir der physikalische Teil derselben fern liege, meinte aber, dass ich ihm über die, wenn man es so nennen darf, philosophische Seite einige Aufschlüsse geben könne. Er selber hatte bis dahin niemals ein philosophisches Buch gelesen, und hat dies, soviel ich weiss, auch später nicht gethan. Als ich ihm einmal auf seinen Wunsch *Hegels* Logik und den Band der Encyklopädie, der die Naturphilosophie enthält, mitgab, brachte er beides nach wenigen Tagen zurück mit der Bemerkung: dass er keine Silbe davon verstanden habe, und nichts verstehen würde, auch wenn er hundert Jahre darin läse. *Ex nihilo nihil fit; nihil fit ad nihilum. Causa aequat effectum.* Das waren die drei Schlagwörter, die er damals immer im Munde führte, die er mir einigemal beim Kommen entgegen —, beim Gehen noch nachrief. Ich sollte ihm sagen, was sich gegen diese Sätze einwenden liesse.“

In einem Briefe an *Baur* vom 12. September 1841 nun schrieb *Mayer* zum erstenmal den Begriff des mechanischen Wärmeäquivalents, wenn auch noch nicht mit der gleichen Unzweideutigkeit wie im nächsten Jahre. Er sagt: „Eine Lebensfrage für meine Theorien, die sich mit mathematischer Gewissheit entwickeln lassen, bleibt nun die Lösung der Frage: wie hoch muss ein Gewicht — etwa 100 Pfund — über die Erde erhoben werden, dass die dieser Erhebung entsprechende und durch das Herablassen des Gewichts zu gewinnende Menge von Bewegung (quantité de mouvement) gleich sei der Menge von Wärme, welche erforderlich, um 1 Pfund Eis von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln. Durch diese Auflösung wird die Gleichung *in concreto* bestimmt, welche zwischen räumlicher Differenz der Massen und Erwärmung stattfindet.“ Mit grossem Scharfsinn sucht er Experimente zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents zu ersinnen und berücksichtigt dabei schon jetzt (1841) *Gay-Lussacs* Versuche über das Ausströmen der Gase in einen luftleeren Raum, womit eine Reihe späterer Angriffe auf die Schlussweise *Mayers* hinfällig werden.

Dagegen wählte er auch im September 1841 noch mc anstatt $\frac{mc^2}{2}$ als Mass der Bewegung, und indem er die zur Erzeugung einer Bewegung aufgewandte räumliche Differenz (potentielle Energie) für kleine Höhendifferenzen h auf der Erde

gleich mh anstatt gmh setzte, erhielt er aus der angenommenen Aequivalenz von Bewegung und räumlicher Differenz die Gleichung

$$mc = mh \text{ anstatt } \frac{mc^2}{2} = gmh$$

und damit

$$c = h \text{ anstatt } c = \sqrt{2gh}.$$

Die Bewegungsmenge mc sollte eine ihr gleichwertige Wärmemenge liefern.

Ueber den Irrtum, dass mc das Mass der Bewegung sei, half sich *Mayer* bald darauf mit bewundernswertem Scharfsinn hinweg [1]), während er auch dann noch mitunter Gewicht und Masse verwechselte und in seinen Schriften vielfach die Bewegung durch mc^2 anstatt durch $\frac{mc^2}{2}$ gemessen annahm.

10.

Im Spätjahr 1841 konnte *Mayer* sein System dem Professor der Physik an der Universität Heidelberg *Jolly* wesentlich bereichert und verbessert vorlegen.

Ueber die Motive, welche ihn bei seinen Besuchen in Tübingen und Heidelberg bewegten, schrieb *Mayer* am 6. August 1842 an *Baur:* „Ich hatte den Schacht über mein Territorium geführt; denn ich weiss, was keiner Versicherung bedarf, ganz wohl, dass ich kein Physiker bin, sollte ich aber das Loch zuwerfen bei dem Bewusstsein, dass Gold daraus für meine Wissenschaft zu gewinnen? — Ehe ich so weit ginge, wollte ich vorher Männer von Fach über die Sache befragen; hörte ich von diesen, dass das von mir für neu Gehaltene nichts als eine bekannte Ansicht sei, oder aber, dass die von mir aufgestellte Theorie der Kräfte unhaltbar oder unfruchtbar sei, so wollte ich, dies stand unwiderruflich fest, das Angefangene für immer verlassen und meine sonst wohl in Anspruch genommene Zeit nicht mit dem Graben auf Hexengold verschwenden. Ich liess mir diese Anfrage auch sehr angelegen sein; ich reiste allein deshalb nach Tübingen und später nach Heidelberg, wurde aber nirgends widerlegt.“

---

[1]) Siehe den Brief an *Baur* vom 17. Juli 1842, „Kleinere Schriften und Briefe“, VI 8.

Jolly erklärte, die Sache gefalle ihm sehr gut, die Lehre von der Wärme, von der vorzugsweise die Rede war, bedürfe einer solchen Bereicherung notwendig, *Mayer* solle seine Untersuchungen weiterführen. Hierzu bemerkt *Mayer* an *Griesinger* am 30. November 1842: „Dies war ein natürlicher Rat; da sich aber der Stoff endlos vor mir ausdehnte, so musste ich stets mehr bedacht sein, mich zu konzentrieren als zu expandieren. Meinen anfänglich gehegten Plan, in einem zusammenhängenden Ganzen meine Theorie, soweit sie Physik und Physiologie betrifft, dem grossen Publikum vorzulegen, hatte ich aus diesem Grunde längst fallen gelassen, und ich arbeitete jetzt einen kurzen Aufsatz aus, in welchem ich einige Grundsätze meiner Theorie mit wenigen Worten entwickelte; diesen schickte ich zur Aufnahme in die Annalen der Chemie ein und hatte das Vergnügen, von *Liebig* ein verbindliches Schreiben zu erhalten, worin er sich vollkommen mit mir einverstanden erklärte."

Der Aufsatz, von welchem hier die Rede ist, erschien unter dem Titel: „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur" als der erste über die *Mayer*schen Lehren; er enthält das Fundament der neueren Naturwissenschaft und rechtfertigt in vollem Masse die Worte *Mayers:* „Wahrheit bedarf zur Anerkennung nicht vieler Worte, und Irrtümliches als wahr anpreisen zu wollen, ist eitles Streben."

I.

Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur.

(Annalen der Chemie und Pharmacie 1842.)

Der Zweck folgender Zeilen ist, die Beantwortung der Frage zu versuchen, was wir unter „Kräften“ zu verstehen haben und wie sich solche untereinander verhalten. Während mit der Benennung „Materie“ einem Objekte sehr bestimmte Eigenschaften, als die der Schwere, der Raumerfüllung zugeteilt werden, knüpft sich an die Benennung Kraft vorzugsweise der Begriff des Unbekannten, Unerforschlichen, Hypothetischen. Ein Versuch, den Begriff von Kraft ebenso 1
präcis als den von Materie aufzufassen, und damit nur Objekte wirklicher Forschung zu bezeichnen, dürfte, mit den daraus fliessenden Konsequenzen, Freunden klarer, hypothesenfreier Naturanschauung nicht unwillkommen sein.

Kräfte sind Ursachen; mithin findet auf dieselben volle Anwendung der Grundsatz: *causa aequat effectum.* Hat die 2
Ursache c die Wirkung e, so ist $c = e$; ist e wieder die Ursache einer andern Wirkung f, so ist $e = f$, u. s. f. $c = e = f \ldots = c$. In einer Kette von Ursachen und Wirkungen kann, wie aus der Natur einer Gleichung erhellt, nie ein Glied oder ein Teil eines Gliedes zu Null werden. Diese erste Eigenschaft aller Ursachen nennen wir ihre Unzerstörlichkeit.

Hat die gegebene Ursache c eine ihr gleiche Wirkung e hervorgebracht, so hat eben damit c zu sein aufgehört; c ist zu e geworden; wäre nach der Hervorbringung von e c ganz oder einem Teile nach noch übrig, so müsste dieser rückbleibenden Ursache noch weitere Wirkung entsprechen, die Wirkung von c überhaupt also $> e$ ausfallen, was gegen die Voraussetzung $c = e$. Da mithin c in e, e in f u. s. w. übergeht, so müssen wir diese Grössen als verschiedene Erscheinungsformen eines und desselben Objektes betrachten. Die Fähigkeit, verschiedene Formen annehmen zu können, ist die zweite wesentliche Eigenschaft aller Ursachen. Beide Eigenschaften zusammengefasst, sagen wir: Ursachen sind (quantitativ) unzerstörliche und (qualitativ) wandelbare Objekte.

Zwei Abteilungen von Ursachen finden sich in der Natur vor, zwischen denen erfahrungsmässig keine Uebergänge stattfinden. Die eine Abteilung bilden die Ursachen, denen die Eigenschaft der Ponderabilität und Impenetrabilität zukommt, — Materien; die andre die Ursachen, denen letztere Eigenschaften fehlen, — Kräfte, von der bezeichnenden negativen Eigenschaft auch Imponderabilien genannt. Kräfte sind also: unzerstörliche, wandelbare, imponderable Objekte.

Eine Ursache, welche die Hebung einer Last bewirkt, ist eine Kraft; ihre Wirkung, die gehobene Last, ist also ebenfalls eine Kraft; allgemeiner ausgedrückt heisst dies: räumliche Differenz ponderabler Objekte ist eine Kraft; da diese Kraft den Fall der Körper bewirkt, so nennen wir sie Fallkraft. Fallkraft und Fall, und allgemeiner noch Fallkraft und Bewegung sind Kräfte, die sich verhalten wie Ursache und Wirkung, Kräfte, die ineinander übergehen, zwei verschiedene Erscheinungsformen eines und desselben Objektes. Beispiel: eine auf dem Boden ruhende Last ist keine Kraft; sie ist weder Ursache einer Bewegung noch der Hebung einer andern Last, wird dies aber in dem Masse, in welchem sie über den Boden gehoben wird; die Ursache, der Abstand einer Last

von der Erde, und die Wirkung, das erzeugte Bewegungsquantum, stehen, wie die Mechanik weiss, in einer beständigen Gleichung. 5

Indem man die Schwere als Ursache des Falls betrachtet, spricht man von einer Schwerkraft und verwirrt so die Begriffe von Kraft und Eigenschaft; gerade das, was jeder 6
Kraft wesentlich zukommen muss, die Vereinigung von Unzerstörlichkeit und Wandelbarkeit, geht jedweder Eigenschaft ab; zwischen einer Eigenschaft und einer Kraft, zwischen Schwere und Bewegung lässt sich deshalb auch nicht die für ein richtig gedachtes Kausalverhältnis notwendige Gleichung aufstellen. Heisst man die Schwere eine Kraft, so denkt man sich damit eine Ursache, welche, ohne selbst abzunehmen, Wirkung hervorbringt, hegt damit also unrichtige Vorstellungen über den ursächlichen Zusammenhang der Dinge. Um dass ein Körper fallen könne, dazu ist seine Erhebung nicht minder notwendig als seine Schwere, man darf daher letzterer allein den Fall der Körper nicht zuschreiben.

Es ist der Gegenstand der Mechanik, die zwischen Fallkraft und Bewegung, Bewegung und Fallkraft, und die zwischen den Bewegungen unter sich bestehenden Gleichungen zu entwickeln; wir erinnern hier nur an einen Punkt. Die Grösse der Fallkraft v steht — den Erdhalbmesser $= \infty$ gesetzt — mit der Grösse der Masse m und mit der ihrer Erhebung d in geradem Verhältnisse; $v = m\,d$ $[v = g\,m\,d]$. 7
Geht die Erhebung $d = 1$ der Masse m in Bewegung dieser Masse von der Endgeschwindigkeit $c = 1$ über, so wird auch $v = m\,c$ $\left[v = \frac{m\,c}{2}\right]$; aus den bekannten zwischen d und c stattfindenden Relationen ergibt sich aber für andre Werte von d oder c, $m\,c^2$ $\left[\frac{m\,c^2}{2}\right]$ als das Mass der Kraft v; also $v = m\,d = m\,c^2$ $\left[v = g\,m\,d = \frac{m\,c^2}{2}\right]$; das Gesetz der Erhaltung lebendiger Kräfte finden wir in dem allgemeinen Gesetze der Unzerstörbarkeit der Ursachen begründet.

Wir sehen in unzähligen Fällen eine Bewegung aufhören, ohne dass letztere eine andre Bewegung oder eine Gewichtserhebung hervorgebracht hätte; eine einmal vorhandene Kraft kann aber nicht zu Null werden, sondern nur in eine andre Form übergehen, und es fragt sich somit, welche weitere Form die Kraft, welche wir als Fallkraft und Bewegung kennen gelernt, anzunehmen fähig sei? Nur die Erfahrung kann uns hierüber Aufschluss erteilen. Um zweckmässig zu experimentieren, müssen wir Werkzeuge wählen, welche neben dem, dass sie eine Bewegung wirklich zum Aufhören bringen, von den zu untersuchenden Objekten möglichst wenig verändert werden. Reiben wir z. B. zwei Metallplatten aneinander, so werden wir Bewegung verschwinden, Wärme dagegen auftreten sehen, und es fragt sich jetzt nur, ist die Bewegung die Ursache von Wärme? Um uns über dieses Verhältnis zu vergewissern, müssen wir die Frage erörtern, hat nicht in den zahllosen Fällen, in denen unter Aufwand von Bewegung Wärme zum Vorschein kommt, die Bewegung eine andre Wirkung als die Wärmeproduktion, und die Wärme eine andre Ursache als die Bewegung?

Ein Versuch, die Wirkungen der aufhörenden Bewegung nachzuweisen, wurde noch nie ernstlich angestellt; ohne die möglicherweise aufzustellenden Hypothesen zum voraus widerlegen zu wollen, machen wir nur darauf aufmerksam, dass diese Wirkung in eine Veränderung des Aggregationszustandes der bewegten, sich reibenden etc. Körper in der Regel nicht gesetzt werden könne. Nehmen wir an, es werde ein gewisses Quantum von Bewegung v dazu verwendet, eine reibende Materie m in n zu verwandeln, so müsste $m + v = n$, und $n = m + v$ sein, und bei der Rückführung von n in m müsste v in irgend einer Form wieder zu Tage kommen. Durch sehr lange fortgesetztes Reiben zweier Metallplatten können wir nach und nach ein ungeheures Quantum von Bewegung zum Aufhören bringen; kann uns aber beifallen, in dem gesammelten Metallstaube auch nur eine Spur der entschwundenen Kraft wiederfinden

und daraus reduzieren zu wollen? Zu Nichts, wir wiederholen, kann die Bewegung nicht geworden sein, und entgegengesetzte oder positive und negative Bewegungen können nicht = 0 gesetzt werden, so wenig aus 0 entgegengesetzte Bewegungen entstehen können oder eine Last sich von selbsten hebt.

So wenig sich, ohne Anerkennung eines ursächlichen Zusammenhangs zwischen Bewegung und Wärme von der entschwundenen Bewegung irgend Rechenschaft geben lässt, so wenig lässt sich auch ohne jene die Entstehung der Reibungswärme erklären. Aus der Volumensverminderung der sich reibenden Körper kann dieselbe nicht hergeleitet werden. Man kann bekanntlich durch Zusammenreiben zwei Eisstücke im luftleeren Raume schmelzen; man versuche
nun, ob man durch den unerhörtesten Druck Eis in Wasser
verwandeln könne? Wasser erfährt, wie der Verfasser fand, 8
durch starkes Schütteln eine Temperaturerhöhung. Das erwärmte Wasser (von 12° und 13° C.) nimmt nach dem Schütteln ein grösseres Volumen ein, als vor demselben; woher kommt nun die Wärmemenge, welche sich durch wiederholtes Schütteln in demselben Apparate beliebig oft hervorbringen lässt? Die thermische Vibrationshypothese inkliniert zu dem Satze, dass Wärme die Wirkung von Bewegung sei, würdigt aber dieses Kausalverhältnis im vollen Umfange nicht, sondern legt das Hauptgewicht auf unbehagliche Schwingungen.

Ist es nun ausgemacht, dass für die verschwindende Bewegung in vielen Fällen (*exceptio confirmat regulam*) keine andre Wirkung gefunden werden kann, als die Wärme, für die entstandene Wärme keine andre Ursache als die Bewegung, so ziehen wir die Annahme, Wärme entsteht aus Bewegung, der Annahme einer Ursache ohne Wirkung und einer Wirkung ohne Ursache vor, wie der Chemiker statt *H* und *O* ohne Nachfrage verschwinden, und Wasser auf unerklärte Weise entstehen zu lassen, einen Zusammenhang zwischen *H* und *O* einer- und Wasser andrerseits 9
statuiert.

Den natürlichen, zwischen Fallkraft, Bewegung und Wärme bestehenden Zusammenhang können wir uns auf folgende Weise anschaulich machen. Wir wissen, dass Wärme zum Vorschein kommt, wenn die einzelnen Massenteile eines Körpers sich näher rücken; Verdichtung erzeugt Wärme; was nun für die kleinsten Massenteile und ihre kleinsten Zwischenräume gilt, muss wohl auch seine Anwendung auf grosse Massen und messbare Räume finden. Das Herabsinken einer Last ist eine wirkliche Volumensverminderung des Erdkörpers, muss also gewiss mit der dabei sich zeigenden Wärme im Zusammenhange stehen; diese Wärme wird der Grösse der Last und ihrem (ursprünglichen) Abstande genau proportional sein müssen. Von dieser Betrachtung wird man ganz einfach zu der besprochenen Gleichung von Fallkraft, Bewegung und Wärme geführt.

So wenig indessen aus dem zwischen Fallkraft und Bewegung bestehenden Zusammenhange geschlossen werden kann: das Wesen der Fallkraft sei Bewegung, so wenig gilt dieser Schluss für die Wärme. Wir möchten vielmehr das Gegenteil folgern, dass, um zu Wärme werden zu können, die Bewegung — sei sie die einfache oder eine vibrierende, wie das Licht, die strahlende Wärme etc. — aufhören müsse, Bewegung zu sein.

Wenn Fallkraft und Bewegung gleich Wärme, so muss natürlich auch Wärme gleich Bewegung und Fallkraft sein. Wie die Wärme als Wirkung entsteht, bei Volumensverminderung und aufhörender Bewegung, so verschwindet die Wärme als Ursache unter dem Auftreten ihrer Wirkungen, der Bewegung, Volumsvermehrung, Lasterhebung.

In den Wasserwerken liefert die auf Kosten der Volumensverminderung, welche der Erdkörper durch den Fall des Wassers beständig erleidet, entstehende und wieder verschwindende Bewegung fortwährend eine bedeutende Menge von Wärme; umgekehrt dienen wieder die Dampfmaschinen zur Zerlegung der Wärme in Bewegung oder Lasterhebung. Die Lokomotive mit ihrem Convoi ist

einem Destillierapparate zu vergleichen; die unter dem Kessel angebrachte Wärme geht in Bewegung über, und diese setzt sich wieder an den Achsen der Räder als Wärme in Menge ab.

Wir schliessen unsere Thesen, welche sich mit Notwendigkeit aus dem Grundsatze „*causa aequat effectum*“ ergeben und mit allen Naturerscheinungen im vollkommenen Einklang stehen, mit einer praktischen Folgerung. — Zur Auflösung der zwischen Fallkraft und Bewegung statthabenden Gleichungen musste der Fallraum für eine bestimmte Zeit, z. B. für die erste Sekunde, durch das Experiment bestimmt werden; gleichermassen ist zur Auflösung der zwischen Fallkraft und Bewegung einer- und der Wärme andrerseits bestehenden Gleichungen die Frage zu beantworten, wie gross das einer bestimmten Menge von Fallkraft oder Bewegung entsprechende Wärmequantum sei. Z. B. wir müssen ausfindig machen, wie hoch ein bestimmtes Gewicht über den Erdboden erhoben werden müsse, dass seine Fallkraft äquivalent sei der Erwärmung eines gleichen 11
Gewichtes Wasser von 0^0 auf 1^0 C.? Dass eine solche Gleichung wirklich in der Natur begründet sei, kann als das Resumé des Bisherigen betrachtet werden.

Unter Anwendung der aufgestellten Sätze auf die Wärme- und Volumensverhältnisse der Gasarten findet man die Sen-
kung einer ein Gas komprimierenden Quecksilbersäule gleich
der durch die Kompression entbundenen Wärmemenge und 12
es ergibt sich hieraus, — den Verhältnisexponenten der Kapazitäten der atmosphärischen Luft unter gleichem Drucke und unter gleichem Volumen = 1,421 gesetzt — dass dem Herabsinken eines Gewichtsteiles von einer Höhe von circa 365 m die Erwärmung eines gleichen Gewichtsteiles Wasser 13
von 0^0 auf 1^0 entspreche. Vergleicht man mit diesem Resultate die Leistungen unserer besten Dampfmaschinen, so sieht man, wie nur ein geringer Teil der unter dem Kessel angebrachten Wärme in Bewegung oder Lasterhebung wirklich zersetzt wird, und dies könnte zur Rechtfertigung dienen für die Versuche, Bewegung auf anderm Wege als

durch Aufopferung der chemischen Differenz von *C* und *O*, namentlich also durch Verwandlung der auf chemischem Wege gewonnenen Elektrizität in Bewegung, auf erspriess-
14 liche Weise darstellen zu wollen.

Anmerkungen des Herausgebers.

1. Eine ausführliche Vertretung dieser Ansicht findet sich in dem folgenden Aufsatze IV. Siehe auch den Brief an *Baur* vom 6. August 1842, „Kleinere Schriften und Briefe“, VI 9.

2. Vergl. hiermit z. B. die von konkreten Fällen ausgehende Darstellung im Briefe an *Griesinger* vom 30. November 1842, „Kleinere Schriften und Briefe“ VII, 1, wo *Mayer* den Satz „*Causa aequat effectum*“ oben als axiomatisch angenommen bezeichnet.

Bezüglich der Gleichheit (bei verschiedenen Masseinheiten Proportionalität) von Ursache und Wirkung sagt *John Stuart Mill* zu *Mayers* Zeit in seiner die Grundsätze der Naturforschung behandelnden „Induktiven Logik“, London 1843 (deutsch von *Schiel*, Braunschweig 1849): „Manche Schriftsteller haben als Axiom in der Theorie der Verursachung angegeben, dass die Wirkungen ihren Ursachen proportional sind, und man hat in den sich auf Naturgesetze beziehenden Schlüssen von diesem Prinzip häufig einen wichtigen Gebrauch gemacht, obgleich es mit vielen Schwierigkeiten und scheinbaren Ausnahmen behaftet ist, und viel Geist aufgewendet wurde, um zu zeigen, dass dieselben keine wirklichen Ausnahmen sind.“ — Dass auch *Mill*, trotz seiner Belobung durch *Liebig*, weit entfernt von der jetzigen Auffassung war, geht z. B. aus seiner Bemerkung hervor: „Es ist gewiss, dass eine Ursache nicht notwendig vergeht, wenn ihre Wirkung hervorgebracht ist.“ Erst *Mayer* hat jenen Worten „aus den allgemeinen Gesetzen des menschlichen Denkens, aus dem Satze vom logischen Grunde“ einen in der Physik unbeschränkt gültigen Sinn unterlegt. Vergl. auch „Kleinere Schriften und Briefe“, VIII 1.

3. Der *Mayer*sche Begriff „Imponderabilien“, welcher nichts mit den „gewichtslosen“ Materien der älteren Physik zu thun hat, ist eingehend besprochen in dem Briefe an *Griesinger* vom 16. Dezember 1842, „Kleinere Schriften und Briefe“, VII 5. — Die Bezeichnung „Kraft“ bei *Mayer* entspricht der jetzt üblichen Bezeichnung „Energie“.

4. Hier folgten beim ersten Abdruck in *Liebigs* Annalen nachstehende zwei Absätze, welche in der „Mechanik der Wärme“ weggeblieben sind:

„Wir wollen zuerst die Materien zur Aufstellung eines Beispiels von Ursachen und Wirkungen benutzen. Knallgas, $H + O$, und Wasser HO verhalten sich wie Ursache und Wirkung, also $H + O = HO$. Wird aus $H + O$, HO, so kommt ausser Wasser noch Wärme, cal. zum Vorschein; diese Wärme muss ebenfalls eine Ursache, x, haben; es ist also: $H + O + x = HO +$ cal., und nicht etwa $H + O =$ cal., und $x = HO$, worauf sich aus obiger Gleichung ebenfalls schliessen liesse u. dgl. m. Die Phlogister erkannten die Gleichung von cal. und x, das sie Phlogiston nannten, und thaten damit einen grossen Schritt vorwärts, verwickelten sich aber wieder dadurch in ein System von Irrtümern, dass sie statt O, $-x$ setzten, also beispielsweise $H = HO - x$ erhielten.

Die Chemie, deren Gegenstand es ist, den zwischeu den Materien stattfindenden ursächlichen Zusammenhang zu entwickeln, lehrt uns, dass einer Materie als Ursache eine Materie als Wirkung zukomme; aber mit dem gleichen Rechte kann man auch sagen, dass einer Kraft als Ursache eine Kraft als Wirkung entspreche. Da $c = e$ und $e = c$, so ist es naturwidrig, das eine Glied der Gleichung eine Kraft, das andre eine Wirkung von Kraft oder Erscheinung zu nennen und an die Ausdrücke Kraft und Erscheinung verschiedene Begriffe zu knüpfen; kurz also, ist die Ursache eine Materie, so ist auch die Wirkung eine solche; ist die Ursache eine Kraft, so ist auch die Wirkung eine Kraft“.

5. Ueber *Mayers* Ansichten, betreffend „Ursache und Wirkung“, findet man Näheres in dem Briefe an *Griesinger* vom 20. Juli 1844, „Kleinere Schriften und Briefe“, VII 13.

6. Ausführlicheres hierüber enthält der zweite Abschnitt des Aufsatzes IV. Ueber „Kräfte“ im Gegensatze zu Eigenschaften siehe den Brief an *Griesinger* vom 5. und 6. Dezember 1842, „Kleinere Schriften und Briefe“, VII 9.

7. Der Gedanke *Mayers* ist vollkommen klar, doch wären an Stelle der von ihm gegebenen Beziehungen die vom Herausgeber in eckigen Klammern beigefügten zu setzen, wobei g die Acceleration des freien Falls bedeutet. Als *Mayer* seine ersten Aufsätze schrieb, wurde von den Einen $\frac{mc^2}{2}$, von den Andern mc^2 als lebendige Kraft bezeichnet. Vereinzelt hat sich letztere Annahme bis heute erhalten.

8. Dies ist allerdings möglich. *Mayer* will indessen offenbar nur andeuten, dass durch Druck allein, ohne Bewegung, keine Wärme entstehen kann, und setzt voraus, dass keine Volumenänderung des Eises stattfindet.

9. Eine weitere Ausführung dieses Gedankens findet sich z. B. in dem Briefe an *Griesinger* vom 30. November 1842, „Kleinere Schriften und Briefe“, VII 1.

10. Dass *Mayer* hierbei nicht an einen Wärmestoff denkt, geht schon aus Anmerkung 4 hervor (vergl. auch Aufsatz II 5 und „Kleinere Schriften und Briefe“, VII 5, 10); aber nicht jede Energie muss nach *Mayer* Bewegung sein (z. B. nicht die „Fallkraft“ oder potentielle Energie). „Es ist eine täglichste Thatsache, zu der die Geschichte der Wissenschaften unzählige Beispiele liefert, dass bei näherer Forschung sich die Sachen wesentlich anders gestalten, als die Sinneseindrücke vermuten liessen; die Erde ist rund, sie dreht sich, die Gestirne stehen fest etc.: man muss sich deshalb hüten, auf ein wissenschaftliches Gefühl ein Präjudiz zu gründen; dies heisst mit andern Worten „sapere aude“. — Ausführlich kommentiert *Mayer* die obige Stelle auch in dem folgenden Aufsatze IV.

11. Ueber seine Auffassung des Wortes „äquivalent“ spricht *Mayer* im zweiten Abschnitte des Aufsatzes IV.

12. Es ist selbstverständlich gemeint, die Arbeit bei Senkung der Quecksilbersäule sei gleich (bei verschiedenen Masseinheiten proportional) der entbundenen Wärmemenge. Vergl. Aufsatz II 3.

13. Bezüglich der Herleitung dieser Zahl sagt *Mayer* in Aufzeichnungen aus den sechziger Jahren: „Was die Grösse des mechanischen Aequivalents der Wärme betrifft, so fand ich dieselbe genau so, wie ich sie in einer darauffolgenden ausführlicheren Abhandlung ‚Die organische Bewegung‘, 1845 S. 15 berechnet habe.“ — Dies wird durch Briefe an *Baur* und *Griesinger* vom 12. September 1841 und 30. November 1842 bestätigt. Vergl. „Kleinere Schriften und Briefe“, VI 7 und VII 1. — Die grösste Schwierigkeit bei der ersten Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents schien *Mayer* in dem Verhältnisse der specifischen Wärmen der atmosphärischen Luft bei konstantem Drucke und konstantem Volumen zu liegen, weshalb er mit Rücksicht auf die von *Prechtl* hierüber gemachten Bemerkungen der Zahl 365 (ob numerum rotundum, da die Rechnung eigentlich 367 ergeben) das Wort ca. vorausgesetzt habe. Vergl. „Kleinere Schriften und Briefe“, XIX 1.

14. Zu dieser Stelle bemerkt *Mayer* in Aufzeichnungen aus den sechziger Jahren, er habe eingesehen, dass sogenannte elektrische Motore niemals mit den Dampfmaschinen konkurrieren könnten; eine Berechnung darüber habe er 1851 der Münchener Akademie der Wissenschaften eingesandt. Dieselbe ist abgedruckt in „Kleinere Schriften und Briefe“ unter XIV 1. Es handelt sich darin um den theoretischen „Nutzeffekt“, nicht um wirtschaftliche Vergleiche, wobei noch die verschiedene Auffassung des Begriffs „Nutzeffekt“ in Betracht kommt.

Robert Mayer.

11.

Ueber die Annahme des vorstehenden bedeutungsvollen Aufsatzes durch *Liebig* für die Annalen der Chemie und Pharmacie äusserte sich *Mayer* 1850 in den „Bemerkungen über das mechanische Aequivalent der Wärme“ wie folgt:

„Es war ein günstiger Umstand für mich, dass durch die wohlwollende Aufnahme jenes mit so tiefer Einsicht begabten Mannes die unscheinbare Arbeit gleich den Eingang in eines der ersten wissenschaftlichen Organe gefunden hat, und ich ergreife die Gelegenheit, dem grossen Naturforscher meinen Dank und meine Verehrung hiermit öffentlich zu bezeigen.“

Dass *Liebig* selbst an *Mayer* geschrieben und ihm seine vollständige Zustimmung ausgedrückt hat, ist nach den Briefen *Mayers* an *Baur* vom 17. Juli 1842, an *Griesinger* vom 30. November, 5. und 6. Dezember 1842 und nach Aufzeichnungen *Mayers* aus den sechziger Jahren unzweifelhaft, der Brief ist jedoch nicht mehr aufzufinden. *Liebig* scheint nachträglich bewirkt zu haben, dass die spätestens im März 1842 an ihn gesandte Arbeit noch in dem am 31. Mai ausgegebenen Maiheft der Annalen zum Abdruck kam, da sich unter den hinterlassenen Papieren *Mayers* folgender Brief der Verlagsbuchhandlung befindet:

„Herrn Doktor *J. R. Mayer* Wohlgeb. in Heilbronn a/N.

Einem soeben erhaltenen Brief des Herrn Prof. *Liebig* zufolge kann ich Sie benachrichtigen, dass Ihr Aufsatz zum Abdruck in den Annalen bestimmt ist, und wahrscheinlich im Juni-Heft erscheinen wird (das Mai-Heft ist fast ganz gedruckt). Herr Prof. *Liebig* war einige Zeit unwohl, dann zehn Tage lang ver-

reist, dann begann der neue Kursus seiner Vorlesungen, diese Umstände werden Ihnen die kleine Verzögerung erklären und entschuldigen.

Hochachtend und ergebenst

Heidelberg, 10. Mai 1842.

C. J. Winter, Verlagshdl."

Liebig selbst hatte schon vor Veröffentlichung des *Mayer*schen Aufsatzes Ansichten in der Richtung desselben ausgesprochen. So bemerkte er in einer Abhandlung „Der Lebensprozess der Tiere und die Atmosphäre" [1]) unter andrem folgendes: „Man ist soweit gegangen, einen Teil der tierischen Wärme den mechanischen Bewegungen im Körper zuzuschreiben, als ob die Bewegungen selbst entstehen könnten ohne einen gewissen Aufwand von Kraft, welche durch diese Bewegungen verzehrt wird .... Wir haben ein Substrat, etwas Gegebenes, was die Form eines andern Substrates annimmt, in allen Fällen eine Kraft und eine Wirkung .... Es gibt verschiedene Ursachen der Krafterzeugung; eine gespannte Feder, ein Luftstrom, eine gewisse Geschwindigkeit, eine fallende Wassermasse, Feuer, was unter einem Dampfkessel brennt, ein Metall, was sich in einer Säure löst, durch alle diese verschiedenen Ursachen der Bewegung lässt sich einerlei Effekt hervorbringen. In dem tierischen Körper erkennen wir aber als die letzte Ursache aller Krafterzeugung nur eine, und diese ist die Wechselwirkung, welche die Bestandteile der Speisen und der Sauerstoff der Luft aufeinander ausüben. Die einzige bekannte und letzte Ursache der Lebensthätigkeit im Tier sowohl, wie in der Pflanze, ist ein chemischer Prozess."

Nach Mitteilung *Mayers* an *Griesinger* vom Dezember 1842 hat gerade diese (bei *Liebig* weiter ausgeführte) Stelle ihn bestimmt, einige Hauptsätze, auf welche er das Prioritätsrecht nicht verlieren wollte, vorläufig in dogmatischer Form bekannt zu geben. Im Antwortschreiben *Liebigs* hiess es: „Ueber das, was Kraft, was Ursache oder Wirkung ist, herrschen im allgemeinen so konfuse Vorstellungen, dass eine leichtverständliche Auseinandersetzung als wahres Verdienst angesehen werden muss," wozu *Mayer* bemerkt: „Man sollte danach glauben, er selbst wisse sich längst erhaben über die allgemeine Konfusion, dass dies

---

[1]) Annalen der Chemie und Pharmacie 1842 XVI, Februarheft, S. 189—219.

aber keineswegs der Fall sei, konnte ich aus seinen ‚Bewegungserscheinungen im Tierorganismus' [1]) zu meiner Zufriedenheit ersehen. Es ist nichts als ein neuer Fleck auf ein altes Kleid; statt mit dem nötigen Radikalismus zu verfahren, vermengselt er neue Ideen mit alten Irrtümern und gerät so in wirkliche Fehler."

Wie weit dies „Vermengseln" geht, zeigt z. B. die Nebeneinanderstellung der oben citierten Stelle mit der folgenden aus dem gleichen Aufsatze: „Wenn wir festhalten, dass alle Erscheinungen in dem Organismus der Pflanzen und des Tiers einer ganz eigentümlichen Ursache zugeschrieben werden müssen, welche in ihren Aeusserungen durchaus verschieden ist von allen andern Ursachen, die Zustandsänderungen oder Bewegungen bedingen, wenn wir die Lebenskraft also gelten lassen für eine für sich bestehende Kraft, so haben wir in den Erscheinungen des organischen Lebens, wie in allen andern Erscheinungen, welche Kräften zugeschrieben werden müssen, eine Statik (Zustand des Gleichgewichts, bedingt durch einen Widerstand) und eine Dynamik der Lebenskraft [2])." Diese Statik und Dynamik der Lebenskraft kehrt bei *Liebig* noch 1847 wieder.

12.

Warum *Mayer* seine erste Abhandlung im Titel auf die unbelebte Natur beschränkte, während er doch von physiologischen Betrachtungen ausgegangen war (6), dürfte schon aus folgender Bemerkung an *Griesinger*, vom Dezember 1842, im Hinblicke auf die belebte Natur hervorgehen: „Der Gang, den ich hier nehme, ist der, dass ich vom Terrain der physikalischen Wissenschaft aus im Gebiete der Physiologie festen Fuss zu fassen suche; daraus folgt, dass ich ersteres soweit als möglich befestigen will, ehe ich mit Sicherheit weiterschreiten kann."

Daneben mag jedoch auch in Betracht kommen, dass *Mayer* zur Zeit der Abfassung seines ersten Aufsatzes (Anfangs 1842) durch gelegentlich auftauchende Widersprüche mitunter noch in

---

[1]) Dritter Teil von: *Liebig*, Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie, Braunschweig 1842; der soeben citierte *Liebig*sche Aufsatz bildet den Anfang dieses Werkes.

[2]) Siehe auch im folgenden die Anmerkungen zu Aufsatz II.

Zweifel geriet, ob sein Prinzip nicht in gewissen Fällen eine Modifikation erfahre. Denn obwohl er die Lebenskraft, Nervenkraft u. s. w. von Anfang an bekämpfte, und „die Faseleien der Naturphilosophen in erbärmlicher Nacktheit am Pranger“ zeigen wollte (Dezember 1842), so konnte er doch noch nach Publikation seines ersten Aufsatzes, im Juli 1842, an *Baur* schreiben: „Das Planetensystem, im allgemeinen die Sternensysteme, sind Kompositionen mit göttlicher Weisheit geordnet (Organismen), in welchen wirklich ‚Kraft‘ produziert wird, und sie unterscheiden sich dadurch wesentlich und himmelweit von unseren Maschinen. — Meine Darstellung soll sich aber nur bis zu den Organismen exklusive erstrecken.“

Dass es sich bei dieser Beschränkung nur um vorübergehende Anwandlungen handelte, beweist z. B. folgende Stelle eines Briefes an *Griesinger* vom 30. November 1842: „Ist Dir das Bisherige in succum und sanguinem gegangen, so wird Dir von selbst einleuchten, dass nicht nur die im tierischen Organismus sich zeigende Wärme, sondern auch sämtliche mechanische Effekte nur dadurch entstehen können, dass fortwährend chemische Differenzen ausgeglichen (geopfert) werden.“

Angesichts der klaren Auseinandersetzungen über die „Kraft“ in *Mayers* erstem Aufsatze bedarf es keiner Erwähnung, dass er dabei alle Formen von Energie im Auge hatte, wenn sie auch nicht alle einzeln aufgeführt sind. Zu einer besonderen Breite war in einer ersten Mitteilung für Sachverständige zur Wahrung der Priorität kein Grund vorhanden. Im übrigen schrieb *Mayer* im Einklang mit früheren Mitteilungen an *Baur*, im Dezember 1842 an *Griesinger*: „Meine Behauptung ist ja gerade: Fallkraft, Bewegung, Wärme, Licht, Elektrizität und chemische Differenz der Ponderabilien sind ein und dasselbe Objekt in verschiedenen Erscheinungsformen.“ Dabei handelte es sich um die Konstanz von Ursachen und Wirkungen als in Arbeitseinheiten messbaren Grössen, nicht um unfassbare Behauptungen über die quantitative Unveränderlichkeit alles Bestehenden, wie sie seit *Democrit*, *Epicur* und *Lucrez* ohne weitere Folgen sehr häufig wiederkehrten.

Die Achse seines Systems aber lag für *Mayer* in dem Nachweise, dass einer Wärmeeinheit unter allen Umständen eine ganz bestimmte Arbeit von so und soviel Meterkilogramm entspreche. Dass eine solche Gleichung zwischen Fallkraft und Bewegung

einerseits und Wärme andrerseits in der Natur wirklich begründet sei, bezeichnet er als Resumé seiner ersten Abhandlung. In einem Briefe an *Griesinger* vom Dezember 1842 erklärt er das Ja oder Nein in dieser Beziehung als eine Lebensfrage für die gesamte Lehre von der Bewegung und der Wärme, sowohl in der unbelebten als in der belebten Natur. 1844 bemerkt er gegenüber *Baur*, er betrachte es als die Aufgabe seines Lebens, die Aequivalenz von lebendiger Kraft und Wärme, von der er mit dem klarsten Bewusstsein durchdrungen sei, zu konstatieren, und an *Griesinger*: „Bewegung verwandelt sich in Wärme," „in diesen fünf Worten hast Du implicite meine ganze Theorie." 1851 wiederholt er in den „Bemerkungen über das mechanische Aequivalent der Wärme", dass alle seine Behauptungen sich um den einen Punkt einer unveränderlichen Grössenbeziehung zwischen Wärme und Bewegung drehen. U. s. w.

Hiernach kann über den Punkt, bei welchem Erörterungen über Prioritätsfragen einzusetzen hätten, ebensowenig ein Zweifel bestehen, als darüber, dass derselbe nichts mit dem ausgeschlossenen perpetuum mobile oder gar mit der Bewegungsnatur der Wärme zu thun hat. Dass ein perpetuum mobile unmöglich sei, bezeichnet *Mayer* als einen von der Wissenschaft allgemein angenommenen Satz, und was das innere Wesen der Wärme ist, erklärt er überhaupt nicht zu wissen (1842), wenn er sich auch entschieden gegen deren Stoffnatur ausspricht (1844), gemäss der schon in seinem ersten Aufsatze vertretenen Ueberzeugung, dass eine „Kraft" als Ursache notwendig auch eine Kraft als Wirkung haben müsse [1]).

13.

Robert Mayer hatte sich nach der Rückkehr von Ostindien 1841 als praktischer Arzt in seiner Vaterstadt Heilbronn niedergelassen. Noch im selben Jahre wurde der 26jährige durch das Vertrauen seiner Mitbürger zum Oberamtswundarzt des Oberamts Heilbronn berufen. Einige Jahre später vertauschte er diese Stelle mit derjenigen eines Stadtarztes von Heilbronn, in welcher Eigenschaft er die Stadt in technischen Fragen zu beraten, sowie die Stadtarmen ärztlich zu behandeln hatte. Er bezog 1841 ein in diesem Jahre von seinem Vater gekauftes

[1]) Siehe Anmerkung 4 und 10 zu Aufsatz I.

Haus, „Kirchhöfle Nr. 13“, welches er von nun an zeitlebens bewohnte, und das auch sein Sterbehaus geworden ist; die Familie *Mayers* wohnt noch jetzt darin.

Mit der Niederlassung in Heilbronn war für *Mayer* die Zeit gekommen, sich eine den Bedürfnissen seines Gemüts entsprechende Häuslichkeit zu gründen. In seinen Aufzeichnungen aus den siebziger Jahren [1]) heisst es darüber: „Im gleichen Jahre [1842] begründete er sein häusliches Glück durch die Wahl einer in jeder Hinsicht vortrefflichen Lebensgefährtin, die es auch nicht unterliess, ihren Mann, dem seine wissenschaftlichen Arbeiten allmählich verleidet wurden, zu weiteren Leistungen aufzumuntern.“ An demselben Tage des Monats Mai, an welchem *Mayer* die zusagende Antwort *Liebigs* betreffs der Aufnahme seiner Erstlingsarbeit in die Annalen der Chemie erhielt, konnte er seinen betagten Eltern die erwählte Braut zuführen. Es war *Wilhelmine Closs*, Tochter des wohlhabenden Kaufmanns und Stadtpflegers *Friedrich Closs* zu Winnenden, einem Städtchen in der Nähe von Stuttgart, und dessen Frau *Johanna* geborene *Ebensberger*. Eine der drei Schwestern der Braut war mit dem Bruder *Gustav Rümelins* verlobt, und letzterer, welcher sich damals bereits dem Lehramt zugewandt hatte, jedoch geprüfter Kandidat der Theologie war, vollzog die kirchliche Trauung beider Paare gemeinsam am 14. August 1842.

Die nächsten Jahre waren die glücklichsten in *Mayers* Leben. Eine innige Liebe verband ihn mit seiner jungen Frau, welche ihn im Jahre 1843 mit dem ersten Töchterlein beschenkte. „Meine ärztliche Praxis war zwar in rascher Zunahme begriffen, liess mir aber doch reichlich die nötige Zeit der Erholung übrig und die gerichtsärztlichen Arbeiten, die ich als Oberamtswundarzt des Heilbronner Bezirks mit dem . . Oberamtsarzte Dr. *Seyffer* . . in der Regel gemeinschaftlich zu machen hatte, boten mir ein schönes Feld zur Anwendung und Bereicherung meiner Kenntnisse“.

Einen hohen Genuss bereitete *Mayer* insbesondere, die mit dem Fortschreiten seiner Studien überall hervortretende Bestätigung seiner Grundgesetze in der ganzen belebten und unbelebten Natur. Dabei kam es ihm zu statten, dass sein Freund *Baur* im

---

[1]) Dieselben sind in „Kleinere Schriften und Briefe“ unter XIX 2 A publiziert.

Herbste 1843 an das Gymnasium zu Heilbronn versetzt wurde, und ihm in den Abendstunden des folgenden Winters Unterricht in der höheren Analysis und Mechanik erteilen konnte, bei welchem er die rationelle Mechanik als „eine immense Wissenschaft“ kennen lernte und der angewandten Mathematik den ersten Rang unter den Wissenschaften einräumte, wenn er auch ihren Kraftbegriff von Anfang an bekämpfte. Da Kraft als die Ursache der Bewegung galt und *Mayer* diese Ursache in dem erkannt hatte, was wir heute Energie nennen, so wollte er die letztere als Kraft bezeichnet wissen.

Baur bemerkt über jenen Unterricht in Aufzeichnungen für den Herausgeber: „Seinem durch die Beschäftigung mit der Mechanik des Sonnensystems geweckten Wunsche, sich von mir in die höhere Mathematik einführen zu lassen, entsprach ich gerne, da ich mir ungeachtet seiner lückenhaften Vorkenntnisse von seinem festen Willen und scharfen Verstande lohnende Erfolge versprechen durfte. Wieweit ich ausholte und wie weit rückwärts in der Elementarmathematik ich ansetzte, um festen Boden für die Brücke zu den Differentialen und Integralen zu gewinnen, weiss ich jetzt [1892] nicht mehr, ich vermute aber, dass ich den Sprung „mit ebenen Füssen“ in das neue Gebiet wagte, und mir die Ausfüllung von Lücken, die sich nachher bemerkbar machen würden, für den Fall des eintretenden Bedürfnisses vorbehielt. Jedenfalls ging es mit unseren Studien nicht schlecht, ich könnte mich sonst nicht mit soviel Vergnügen an jene Abendstunden des Winters 1842 auf 1843 erinnern, die ich mit *Mayer* an seinem Schreibtische zubrachte.“ In seinen Aufzeichnungen aus den sechziger Jahren äussert *Mayer*: „Leider hat mir aber meine Zeit später nicht mehr erlaubt, diese mathematischen Studien gehörig fortzutreiben, wodurch eine Lücke entstand, die ich oft schmerzlich empfunden habe und empfinde.“

Auch dem geselligen Verkehr liess *Mayer* in diesen Jahren sein Recht widerfahren. Er war nach seiner Rückkehr aus Java in den Württembergischen ärztlichen Verein eingetreten, an dessen Bestrebungen er thätigen Anteil nahm [1]). 1843 schreibt er an

---

[1]) In den Jahrgängen 1843 und 1844 des „Medizinischen Korrespondenzblattes des Württembergischen ärztlichen Vereins“ befinden sich ausführliche Berichte *Mayers* über die Versammlungen der Wundärzte aus den Oberamtsbezirken Besigheim, Brackenheim, Heilbronn, Neckarsulm und Weinsberg vom 30. Mai 1842 und 12. Juni 1843.

Baur, dass ihn seit einer Reihe von Wochen ein bedeutendes, sehr zeitraubendes Projekt, die Gründung einer Museumsgesellschaft, beschäftige, wovon er ein Hauptentrepreneur sei, und das zum Teil stürmische Aufregung in der Stadt hervorrufe. Ein Kuraufenthalt in Wildbad gibt ihm Veranlassung zur Untersuchung der Frage: „Worin liegt der Grund von der Heilwirkung des Wildbader Thermalwassers?“ Letzteres unterscheidet sich den mineralischen Bestandteilen nach nicht wesentlich von gewöhnlichem Quellwasser. *Mayer* gelangt zu dem originellen Schlusse, dass die Heilkraft ausschliesslich vegetabilischen Bestandteilen und zwar vorzugsweise dem roten Fingerhut, digitalis, zu verdanken sei, welcher auf den Höhen um Wildbad in üppiger Fülle vorkomme. Er fügte seiner Skizze [1]) die Anmerkung bei: „Der Verfasser beabsichtigt diesen Gegenstand, der sich nicht auf die Wildbader Therme beschränkt, dem gelehrten Publikum monographisch behandelt vorzutragen“; es ist aber nicht geschehen.

14.

Im November 1842 begann *Mayer* einen Briefwechsel mit *Wilhelm Griesinger* [2]), welcher sich nach zweijähriger Wirksamkeit in der Irren-, Heil- und Pflegeanstalt Winnenthal bei Winnenden als Arzt in Stuttgart niedergelassen hatte und im Herbste 1843 zu Tübingen die akademische Laufbahn betrat. Der Briefwechsel zeigt, bis zu welcher Klarheit und Sicherheit *Mayer* bereits in der Erkenntnis und Vertretung seiner Grundgesetze durchgedrungen war, die er nun einem Laien in der Physik einleuchtend zu machen suchte. Da der Briefwechsel insbesondere die in den „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“ gegebene Darstellung erläutert und weiterführt, so kann er als der beste Kommentar zu dieser grundlegenden Arbeit gelten. Die Einwände des scharfsinnigen und später im

---

Im ersten Bericht nimmt den grössten Teil des Raumes ein die Wiedergabe einer Rede des Oberamtsarzts Dr. *Justinus Kerner* in Weinsberg über die Heilung durch Sympathie, im zweiten der Vortrag des Oberamtsarztes Dr. *Seyffer* in Heilbronn zur Entwickelungsgeschichte des ärztlichen Standes; doch verhält sich *Mayer* beidemal streng referierend.

[1]) Abgedruckt in „Kleinere Schriften und Briefe“ unter IX 1.

[2]) „Kleinere Schriften und Briefe“, VII.

Gebiete der Psychiatrie bahnbrechend aufgetretenen Freundes, der auf der Hochschule die gleichen Studien wie *Mayer* durchlaufen hatte, lassen erkennen, wieweit sich dieser seitdem aus eigener Kraft von den herrschenden Ansichten entfernt hatte.

Am 11. Juni 1844 übersandte *Mayer* an *Griesinger* den Entwurf einer „Journalarbeit“ mit der Bitte, dieselbe namentlich auch bezüglich der Form zu prüfen; es war die erste Fassung seines bedeutendsten Aufsatzes, welcher 1845 unter dem Titel: „Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel“ als Broschüre erschienen ist. *Mayer* fügt bei, *Pfeufer* (der damals als Professor und Direktor der Klinik in Zürich wirkte) sei lebhaft in ihn gedrungen, wieder etwas zu veröffentlichen, da er sich von der Theorie für die Physiologie viel verspreche, und es habe ihn dies noch besonders bestimmt, das Ganze der Physiologie möglichst nahe zu rücken. „Von der Richtigkeit der Sache habe ich mich längst auf wissenschaftlichem Wege mit völliger Gewissheit zu überzeugen Gelegenheit gehabt, und je mehr ich mich in das Gebiet der Physik hineinarbeite, um so mehr erhalte ich Bestätigung.“

Schon am 14. Juni schreibt *Mayer* nochmals an *Griesinger*: „In drei Beziehungen wünschte ich eine Beurteilung des Vorliegenden von Dir zu vernehmen: in formeller, logischer und physiologischer Hinsicht. Du wirst, was das erste betrifft, bemerken, dass ich Deinem Rate, mich möglichst wenig abstrakt zu halten, nachzukommen mich sehr befleissigt habe; es versteht sich dabei immerhin, dass es notwendig war, aus den Einzelerscheinungen zu allgemeinen Begriffen und Lehrsätzen zu gelangen, wobei ich mir aber die möglichste Klarheit und Freiheit von allem Hypothetischen und eitel Spekulativem zur ersten Aufgabe machte; ich glaube daher auch rein auf dem Boden der Empirie geblieben zu sein.“ Eine „endlose Nachschrift“ zu diesem Briefe geht auf physiologische Fragen ein und enthält u. a. die ersten Zahlenbeziehungen zwischen tierischer Arbeit, tierischer Wärme und Aufwand von Kohlenstoff der Nahrungsmittel zu ihrer Erzeugung. Uebrigens fürchtet *Mayer*, dass die Sache unbeachtet bleibe und will deshalb *Griesingers* Ansicht darüber hören, ob er die Arbeit, von der er sagen könne nonum prematur in annum, veröffentlichen solle oder nicht. „Kommen wird der Tag, das ist ganz gewiss, dass diese Wahrheiten zum Gemeingut der Wissenschaft werden.“

Griesinger wies *Mayer* in einer vorläufigen Antwort darauf hin, dass er bis jetzt nur den kurzen Aufsatz bei *Liebig* publizirt habe, so geschwind gehe es nicht mit der Anerkennung, besonders auf einem Gebiete, zu dessen wirklichem Durchdenken immer nur ganz Wenige recht disponiert sein könnten. *Mayer* solle auf das trockene Brot der Mechanik und Mathematik etwas kritische Butter und polemisches Salz streuen, und ebendeswegen den physiologischen Teil länger und ausführlicher machen. „Ich weiss wohl, was es ist, Gedanken zu haben, sie animo volvere nicht los werden zu können, ferne reformatorische Konsequenzen durchblicken zu sehen. Es gibt nur ein Mittel: hinaus mit ihnen, hingeschrieben, Aufsätze, Broschüren publiziert! Alles psychische Reflexaktion! — So befreit man sich, so hat *Goethe* gedichtet, so haben noch alle Leute, die eigene Gedanken haben, arbeiten müssen."

Mayer erwiderte, dass er die wenigen physiologischen Zeilen der langen anorganischen Einleitung überhaupt nur deshalb angehängt habe, um die Aufmerksamkeit für den ersten Teil eher rege zu machen. „Das Anorganische ist mir unbedingt zur Hauptsache geworden; wenn dieses Anerkennung bei den Physikern gefunden hat, so werden sich den Physiologen vielseitige Anwendungen von selbst darbieten; wäre die Sache aber von physikalischer Seite nicht haltbar, so wären die plausibelsten physiologischen Ideen, die man darauf gründen wollte, nur Seifenblasen. Für einen bevorstehenden Kampf wollte ich mir eine durchaus bombenfeste Citadelle schaffen, und dann erst, wenn die Gegner herangelockt wären zum vergeblichen Sturme, zu Ausfällen mich anschicken; meine Kräfte wollte ich aber vor der Hand nicht in zahlreichen Aussenwerken verteilen; in der Mitte der Burg weht das Panier: ‚Wärme lässt sich in Bewegung verwandeln' und ladet um so mehr zum direkten Angriff ein, als keine Aussenwerke die Aufmerksamkeit der Gegner ablenken."

In einem weiteren Briefe vom 16. Juli 1844 bemerkt *Mayer*, dass er einen zweiten Artikel, die Anwendung des physikalischen Satzes auf Physiologie näher ausführend, ausgearbeitet habe; dabei seien ihm verschiedene Zusätze und Aenderungen zu dem in Händen *Griesingers* befindlichen Entwurfe in den Sinn gekommen, und da er keine Abschrift von demselben besitze, so bitte er, den Entwurf zurückzuschicken; er werde ihm den Aufsatz in veränderter Gestalt zur Beurteilung übergeben.

15.

Am 20. Juli 1844 sandte *Mayer* den Entwurf zur Durchsicht an *Baur*, welcher nach wenigen Tagen antwortete und eine Anzahl Ausstellungen, insbesondere auch bezüglich *Mayers* Polemik gegen Anschauungen der Mechanik, machte, die *Mayer* teilweise berücksichtigte. Die neue Bearbeitung des physikalischen Teils ging am 21. August wieder an *Baur*, während *Mayer* den chemischen und physiologischen Teil noch ausführlicher bearbeiten und (dem Rate *Griesingers* folgend) mit einer Polemik gegen *Liebigs* „Bewegungserscheinungen im Tierorganismus“ ausstatten wollte. „Vielleicht, dass es dadurch gelingt, dass die Sache in Erwägung gezogen wird.“

Noch hatte *Baur* nicht antworten können, als ein neuer Brief vom 30. August mit folgendem Eingange eintraf: „Du wirst Dich vielleicht wundern, dass ich Dir schon wieder etwas zuschicke, ich habe aber meinen Plan in einigem abgeändert, sofern ich den Dir bereits überschickten Teil und den hier folgenden zusammen, abgesondert von dem dritten, als ersten Artikel, dem der zweite in möglichst selbständiger Form folgen soll, publizieren will. Für den letzteren habe ich nichts weiter aus dem ersten nötig als den Satz: 1° Wärme gleich 365 m Höhe.“ Am Schlusse bittet *Mayer,* den ersten Teil, wenn *Baur* ihn absolviert habe, vor dem zweiten zurückzusenden, damit er mit der Reinschrift beginnen könne. „Die Sache beginnt mich zu drücken — und doch mag ich nicht ruhen, bis ich wieder etwas an *Liebig* geschickt habe.“

Der Teil, welchen *Mayer* abgetrennt hat, dürfte nach obiger Bemerkung darüber und nach dem Inhalt der weiteren Briefe an *Baur* die Anfänge der 1848 als selbständige Broschüre erschienenen „Beiträge zur Dynamik des Himmels“ enthalten haben. Schon am 31. Juli hatte *Mayer* erwähnt, dass er das von Schwere und Fall Handelnde in dem Entwurfe teilweise kassieren wolle.

Baur, in seiner Antwort vom 7. September, regte nochmals an, die Polemik gegen die üblichen Definitionen und Begriffe der Mechanik wegzulassen, aus der Mechanik ganz einfach den Satz, dass die mechanische Arbeit gleich der lebendigen Kraft sei, zu adoptieren, um dann selbst den Weg durch das Kapitel der Wärme einzuschlagen. „Kannst Du Dich nun nicht ent-

schliessen, meinen Vorschlag ganz zu befolgen, so schicke Dein geistiges Kind in die Welt hinaus, wie ich es Dir zurücksende.“

So ging denn *Mayer* an die Fertigstellung des folgenden denkwürdigen Aufsatzes, welcher in grossen Zügen den Satz begründet: „Es gibt in Wahrheit nur eine einzige Kraft. — In ewigem Wechsel kreist dieselbe in der toten wie in der lebenden Natur. Die Kraft in ihren verschiedenen Formen kennen zu lernen, die Bedingungen ihrer Metamorphosen zu erforschen, das ist die einzige Aufgabe der Physik.“

II.

Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel.

Ein Beitrag zur Naturkunde.

(Heilbronn, Verlag der *C. Drechsler*schen Buchhandlung, 1845.)

Einleitung. 1

Die angewandte Mathematik hat im Verlaufe der letzten Jahrhunderte eine so hohe Stufe der Ausbildung erreicht, ihre Schlüsse haben einen solchen Grad von Sicherheit erlangt, dass sie unter den Wissenschaften den ersten Rang einzunehmen berechtigt ist. Sie ist der Anfang und das Ende für den Sternkundigen, den Techniker, den Seemann, sie ist die feste Achse aller Naturforschung jetziger Zeit. Nur der *Biologie* haben die Entdeckungen *Galileis, Newtons* und *Mariottes* verhältnismässig geringe Früchte getragen; für die Lebenserscheinungen wurden keine Formeln aufgefunden, denn: der Buchstabe tötet, der Geist allein gibt Leben.

Bei dem Studium der Lehre von den auf organischem Wege erzeugten Bewegungen wird die Kluft zwischen mathematischer Physik und Physiologie, welche auch die trefflichen Untersuchungen eines *Schwann* und *Valentin* nicht ausgefüllt haben, lebhaft empfunden, weshalb der Versuch, eine Methode

aufzustellen, durch welche beide Wissenschaften in Beziehung auf den fraglichen Punkt sich näher gerückt werden sollen, für den Physiologen nicht ohne Interesse sein wird.

Wohl müsste es ein Recidiv genannt werden, in die Fehler der antiken Naturforschung oder in die Verirrungen einer modernen Naturphilosophie, wenn es sich um einen Versuch handeln sollte, *a priori* eine Welt zu konstruieren; wenn es aber gelungen ist, die zahllosen Naturerscheinungen unter sich zu verknüpfen und aus ihnen einen obersten Grundsatz abzuleiten, so mag es nicht zum Vorwurfe gereichen, wenn man nach sorgfältiger Prüfung sich eines solchen als Kompass bedient, um unter sicherer Führung auf dem Meere der Einzelheiten fortzusteuern.

Ausgehend von den Gesetzen anorganischer Erscheinungen, legen wir einerseits die Resultate der Mechanik als ausgemachte Wahrheiten zu Grunde, während wir uns auf der andern Seite an die Begriffe und Einteilungen, wie sie diese Wissenschaft *pro domo* aufzustellen für gut fand, keineswegs als gebunden erklären können. Die Mechanik anatomiert die Naturgegenstände, mit denen sie sich beschäftigt, durch möglichst weit getriebene Abstraktion, bis sie als Zahlen und Linien in ihren Kalkul passen, und zufrieden, die Fragen, die sie stellt, mit bewundernswürdiger Schärfe und mathematischer Sicherheit beantworten zu können, kümmert sie sich wenig, wenn durch ihre Anschauungsweise an der Grenze ihres Gebietes Erscheinungen weit auseinander zu liegen kommen, die in der Natur aufs engste verknüpft sind, und wiederum Begriffe und Objekte zusammenfallen, die in der Welt nichts miteinander gemein haben.

Die Begriffe, welche sich die Mechanik zu ihren Zwecken geschaffen hat, werden von andern Wissenschaften weiter fortgeführt, als es im Sinne der ersteren liegen konnte. Auf die Frage, was unter einem „Körper“ zu verstehen sei? wird der Geometer antworten: „ohne Präjudiz für den Physiker, Zoologen, Psychologen u. s. w., ist nach unseren Begriffen ein Körper ein nach drei Dimensionen begrenzter Raum.“ Der Mechaniker, welcher sich die Entstehung, Abänderung,

Aufhebung jeder Bewegung durch einen Druck bewerkstelligt vorstellt, nennt diesen *in abstracto* „Kraft“; die Fähigkeit der Masse, einen solchen Druck ausüben zu können, die Schwere, nennt er eine Kraft. Ohne aber bei der Abstraktion des Mechanikers: Kraft = Druck, zu bleiben, wurde in andern Wissenschaften die Schwere als Typus der Kräfte aufgestellt und damit eine künstliche Verwirrung der Begriffe: Eigenschaft, Kraft, Ursache, Wirkung, herbeigeführt, die bei dem Baue des Turmes der Erkenntnis zu einem mächtigen Hindernisse geworden. 2

Bevor wir nun mit der Untersuchung physiologischer Gesetze beginnen, möge es erlaubt sein, über den Begriff von Kraft mit dem Leser uns zu verständigen und die hier einschlagenden anorganischen Erscheinungen in ihrem natürlichen Zusammenhange darzustellen.

Bei Abfassung des anorganischen Teiles der Abhandlung war der Verfasser bemüht, die bezüglichen mechanischen und physikalischen Probleme auf allgemein verständliche Weise auseinander zu setzen. Sollten sich nichtsdestoweniger einzelne Stellen vorfinden, zu deren Verständnis eine genauere Bekanntschaft mit den Lehrsätzen der Mechanik erforderlich wäre, so war dieses, der Natur der Sache nach, nicht wohl zu vermeiden.

Möchten auch Physiker, denen der Kalkul bei ihren Forschungen nur Mittel und nicht Selbstzweck ist, eine ernste Prüfung diesem Teile der Schrift nicht versagen!

Soll eine ruhende Masse in Bewegung gesetzt werden, so ist dazu ein Aufwand von Kraft erforderlich. Eine Bewegung entsteht nicht von selbst; sie entsteht aus ihrer Ursache, aus der Kraft.

Ex nihilo nil fit. 3

Ein Objekt, das, indem es aufgewendet wird, Bewegung hervorbringt, nennen wir *Kraft*.

Die Kraft, als Bewegungsursache, ist ein unzerstör-

liches Objket. Es entsteht keine Wirkung ohne Ursache; keine Ursache vergeht ohne entsprechende Wirkung.

Ex nihilo nil fit. Nil fit ad nihilum.

Die Wirkung ist gleich der Ursache. Die Wirkung der Kraft ist wiederum Kraft.

Die quantitative Unveränderlichkeit des Gegebenen ist ein oberstes Naturgesetz, das sich auf gleiche Weise über Kraft und Materie erstreckt.

Die Chemie lehrt uns die qualitativen Veränderungen kennen, welche die gegebenen Materien unter verschiedenen Umständen erleiden, und liefert dabei wirklich in jedem einzelnen Falle den Beweis, dass bei den chemischen Prozessen nur die Form und nicht die Grösse*) des Gegebenen geändert wid.

Was die Chemie in Beziehung auf Materie, das hat die Physik in Beziehung auf Kraft zu leisten. Die Kraft in ihren verschiedenen Formen kennen zu lernen, die Bedingungen ihrer Metamorphosen zu erforschen, dies ist die einzige Aufgabe der Physik, denn die Erschaffung oder die Vernichtung einer Kraft liegt ausser dem Bereiche menschlichen Denkens und Wirkens.

Ob es in zukünftigen Zeiten je gelingen werde, die zahlreichen chemischen Grundstoffe ineinander zu verwandeln, sie auf wenige Elemente oder gar auf einen einzigen Urstoff zurückzuführen, dies ist mehr als zweifelhaft. Nicht das Gleiche gilt von den Bewegungsursachen. *A priori* lässt sich beweisen und durch die Erfahrung überall bestätigen, dass die verschiedenen Kräfte ineinander sich verwandeln lassen.

Es gibt in Wahrheit nur eine einzige Kraft..

In ewigem Wechsel kreist dieselbe in der toten wie in

---

*) Die Materie A erfährt durch Hinzufügen einer Materie B allerdings eine Grössenveränderung. Da aber B ebensowohl wie A als gegeben betrachtet werden muss, und die Summe $A + B$ ihren Teilen A und B zusammengenommen gleich ist, so ist klar, dass das Gegebene im ganzen betrachtet durch Zusammenfügen oder Trennen der Teile keine Grössenveränderung erfährt.

der lebenden Natur. Dort und hier kein Vorgang ohne Formveränderung der Kraft!

1.

Die *Bewegung* ist eine Kraft. Bei der Aufzählung der Kräfte verdient sie die erste Stelle. Die Wärme erwärmt, die Bewegung bewegt.

Wenn eine bewegte Masse auf eine ruhende trifft, so wird die letztere in Bewegung gesetzt, während die erste an Bewegung verliert.

Stösst der weisse Ball den roten central an, so verliert der weisse seine Bewegung und der rote geht mit dessen Geschwindigkeit fort. Die Bewegung des weissen ist es, welche aufgewendet die Bewegung des roten hervorgebracht, oder sich in die letztere verwandelt hat. Die Bewegung des weissen ist eine Kraft. Die Bewegung des roten ist als Wirkung ihrer Ursache gleich; sie ist ebenfalls eine Kraft.

Eine Billardkugel kann durch einen Stoss viele andere Kugeln, gross und klein, fortbewegen, und dabei selbst noch in Bewegung bleiben. Die Grösse der Kraft aber, oder die sogenannte „lebendige Kraft der Bewegung“, ist vor und nach dem Stosse konstant geblieben.

2.

Eine ruhende Masse, in irgend einer Entfernung von dem Erdboden sich selbst überlassen, setzt sich sofort in Bewegung und langt mit einer berechenbaren Endgeschwindigkeit auf dem Boden an. Die Bewegung dieser Masse kann nicht ohne Aufwand von Kraft entstanden sein. Welches ist nun diese Kraft?

Hält man sich statt an herkömmliche Voraussetzungen nur an die einfache reine Thatsache, so wird man leicht gewahr, dass die Erhebung des Gewichtes die Ursache ist von der Bewegung desselben. Ein Pfundgewicht war

15 Fuss über dem Boden ruhend; durch Herabfallen hat es die Geschwindigkeit von 30 Fuss in einer Sekunde erlangt: aufgewendet wurde die Erhebung, erzeugt wurde die Bewegung der Last.

Gewichtserhebung ist Bewegungsursache, ist Kraft.

Diese Kraft erzeugt die Fallbewegung; wir nennen sie *Fallkraft*.

Wenn eine Masse sich mit einer gewissen Geschwindigkeit auf horizontaler Ebene fortbewegt, so behält sie ihre Bewegung — wie man sich auszudrücken pflegt, nach dem Gesetz der Trägheit — unverändert bei. Die nämliche Masse aber, wenn sie mit der nämlichen Geschwindigkeit beginnt, sich vertikal aufwärts zu bewegen, verliert in wenig Augenblicken ihre Bewegung vollständig. Eine Masse von
4 1 Pfund fängt mit der Geschwindigkeit von 30 Fuss zu steigen an, — nach einer Sekunde hat die Bewegung aufgehört; das Pfund ist 15 Fuss hoch gehoben worden. Die Kraft, welche diese Last gehoben hat, ist die Bewegung; was soeben Wirkung gewesen, ist jetzt Ursache, was Ursache gewesen, ist zur Wirkung geworden. Fallkraft hat sich in Bewegung, und Bewegung wiederum in Fallkraft verwandelt.

Die Grösse der Fallkraft wird gemessen: durch das Produkt aus dem Gewicht in seine Höhe; die Grösse der
5 Bewegung: durch das [halbe] Produkt aus der bewegten Masse in das Quadrat ihrer Geschwindigkeit*). Beide Kräfte

---

*) Dem *Newton*schen Gravitationsgesetze gemäss ist ganz allgemein die Fallkraft den sich anziehenden Massen und dem Fallraume direkt, dem anfänglichen und dem übrigbleibenden Abstande der Schwerpunkte aber umgekehrt proportional. — Sind A und B zwei in dem gegebenen Abstande h ruhende Massen, c und c' die Geschwindigkeiten, welche die Massen durch Reduktion von h auf den kleineren
6 Abstand h' erhalten, so ist

$$Ac^2 + Bc'^2 = \frac{A\ B\ (h - h')}{h\ \ h'}.$$

Ist unter A ein Gewicht [ein fallender Körper vom Gewichte P], unter B die Erde zu verstehen, und ist der Fallraum $h - h'$ im Verhältnis

werden auch unter dem Kollektivnamen des mechanischen Effektes aufgeführt.

Wird eine Fallkraft in Bewegung, oder eine Bewegung in Fallkraft verwandelt, so bleibt die gegebene Kraft oder der mechanische Effekt eine konstante Grösse. Dieses Gesetz, eine specielle Anwendung des Axioms der Unzerstörlichkeit der Kraft, wird in der Mechanik unter dem Namen „Prinzip der Erhaltung lebendiger Kräfte“ aufgeführt. Belege hierzu liefern: der freie Fall aus jeder Höhe, der Fall 7
auf vorgeschriebenen Wegen, die Pendelschwingungen, die Bewegungen der Himmelskörper.

3.

Jahrtausendelang war das Menschengeschlecht zur Lösung einer immer wiederkehrenden Aufgabe: ruhende Massen mit den Hilfsmitteln der anorganischen Natur in Bewegung zu setzen, fast ausschliesslich auf die Verwendung gegebener mechanischer Effekte beschränkt. Einer neuen Zeit war es vorbehalten, den Kräften der alten Welt, der strömenden Luft und dem fallenden Wasser, noch eine andre Kraft hinzuzufügen. Diese dritte Kraft, deren Wirkungen unser Jahrhundert mit Bewunderung erblickt, ist die *Wärme*.

Die Wärme ist eine Kraft; sie lässt sich in mechanischen Effekt verwandeln*).

---

zum *radius terrae h'* verschwindend klein, so reduziert sich nach den Lehren der Mechanik diese Gleichung auf eine einfachere; es wird

$$A c^2 = A (h - h') \qquad \left[\frac{A c^2}{2} = P (h - h')\right].$$

Mit Worten: das Produkt aus der Masse in das [halbe] Quadrat der Geschwindigkeit verhält sich zu dem Produkte aus der Masse [aus dem Gewicht] in den Fallraum wie die Ursache zur Wirkung. — Die eine Seite dieser Gleichungen können wir „Ursache“, die andre „Wirkung“, jede aber „Kraft“ nennen.

*) Wenn hier eine Verwandlung der Wärme in mechanischen Effekt statuiert wird, so soll damit nur eine Thatsache ausgesprochen, 8
die Verwandlung selbst aber keineswegs erklärt werden. Ein ge-

Einer Masse von 100 000 Pfund, einem Convoi, soll die Geschwindigkeit von 30 Fuss in einer Sekunde erteilt werden. Durch den Aufwand der erforderlichen Menge von gegebener Bewegung oder Fallkraft lässt sich diesem Verlangen entsprechen, und es werden die Wagen z. B. durch Herabrollen über eine geneigte Ebene die gewünschte Bewegung erhalten. Der Convoi wird aber in der Regel ohne Aufwand von Fallkraft in Bewegung gesetzt und trotz Reibung u. s. w. darinnen erhalten. Wenn man als Aequivalent der Reibung eine Steigung der Bahn von $^1/_{150}$ annimmt, so wird bei einer Geschwindigkeit von 30 Fuss die Last in einer Zeitstunde 720 Fuss hoch gehoben, was der einstündigen Arbeit von ca. 45 Pferden entspricht. Diese enorme Menge erzeugter Bewegung setzt eine gleich grosse Menge einer aufgewendeten Kraft voraus. Die in den Lokomotiven wirksame Kraft ist die Wärme.

Der Aufwand von Wärme, oder die Verwandlung der Wärme in Bewegung beruht nun darauf, dass die Wärmemenge, welche von den Dämpfen aufgenommen wird, fortwährend grösser ist, als die, welche von den Dämpfen bei ihrer Verdichtung an die Umgebung wieder abgesetzt wird. Die Differenz gibt die nutzbar verwendete, oder die in
9 mechanischen Effekt verwandelte, Wärme.

Gleiche Mengen von Brennmaterial geben unter gleichen Umständen gleiche Wärmemengen; die Kohlen aber, welche unter dem Kessel verbrennen, geben weniger Wärme frei, wenn die Maschine arbeitet, als wenn sie stillesteht. Die freie Wärme teilt sich der Umgebung mit und geht so für mechanische Zwecke verloren. Je vollkommener nun der Apparat, um so weniger wird verhältnismässig Wärme

---

gebenes Quantum Eis lässt sich in eine entsprechende Menge Wasser verwandeln; diese Thatsache steht fest da und unabhängig von unfruchtbaren Fragen über Wie und Warum und von gehaltlosen Spekulationen über den letzten Grund der Aggregatszustände. Die echte Wissenschaft begnügt sich mit positiver Erkenntnis und überlässt es willig dem Poeten und Naturphilosophen, die Auflösung ewiger Rätsel mit Hilfe der Phantasie zu versuchen.

an die Umgebung abgesetzt. Die besten Maschinen geben nahe 5 Prozent Differenz. 100 Pfund Steinkohlen liefern in einer solchen Maschine keine grössere Menge von freier Wärme, als 95 Pfund Steinkohlen abgeben, welche ohne Arbeit verbrennen.

Zur Begründung dieses wichtigen Satzes müssen wir das Verhalten elastischer Flüssigkeiten gegen Wärme und mechanischen Effekt ins Auge fassen.

Gay-Lussac hat durch das Experiment bewiesen, dass eine elastische Flüssigkeit, die aus einem Ballon in einen gleich grossen luftleeren Behälter einströmt, im ersten Gefäss genau um so viele Grade sich abkühlt, als sie sich im zweiten erwärmt. Dieser, durch seine Einfachheit ausgezeichnete Versuch, der auch andern Beobachtern stets das nämliche Resultat geliefert hat, lehrt, dass ein gegebenes Gewicht und Volumen einer elastischen Flüssigkeit auf ein doppeltes, vierfaches, überhaupt auf ein mehrfaches Volumen sich ausbreiten könne, ohne im ganzen eine Temperaturveränderung zu erfahren, oder, dass zur Ausdehnung des Gases an und für sich kein Wärmeaufwand erforderlich sei. Ebenso konstatiert ist aber auch die Thatsache: dass ein Gas, welches unter einem Drucke sich ausdehnt, eine Temperaturverminderung erleidet.

Angenommen, ein Kubikzoll Luft von 0^{0} und 27 Zoll Quecksilber Druck, sei durch die Wärmemenge x bei konstantem Volumen um 274^{0} C. erwärmt worden; es wird dieses Gas, wenn es in ein leeres Gefäss von gleichem Rauminhalte einströmt, seine Temperatur von 274^{0} beibehalten, und ein die Gefässe umgebendes Medium wird durch die Ausbreitung des Gases in seiner Normaltemperatur keine Aenderung erfahren. Ein andermal aber werde unser Kubikzoll Luft nicht unter konstantem Volumen, sondern unter konstantem Drucke der 27zölligen Quecksilbersäule von 0 auf 274^{0} erwärmt. Diesmal ist eine grössere Wärmemenge erforderlich als zuvor; es sei dieselbe $= x + y$.

Bei der Vergleichung dieser Vorgänge sehen wir in

beiden die Luft von 0 auf 274° sich erwärmen und zugleich von einem Volumen auf zwei Volumina sich ausbreiten; im ersten Falle war die erforderliche Wärmemenge $= x$, im zweiten $= x + y$; im ersten Falle war der gelieferte mechanische Effekt $= 0$, im zweiten $= 15$ Pfund auf 1 Zoll Höhe.

Erkaltet die Luft unter den nämlichen Umständen, unter denen sie erwärmt wurde, so gibt sie eine gleich grosse Wärmemenge zurück als sie zuvor aufgenommen hat. Das gegebene Luftquantum wird also, wenn es ohne gleichzeitigen Aufwand von mechanischem Effekt (oder bei fehlendem Nachdruck) von 274° auf 0 sich abkühlt, die Wärmemenge $= x$, beim Abkühlen aber unter konstantem Drucke, mit Aufwand der Fallkraft von 15 Pfund Gewicht und 1 Zoll Höhe, die Wärmemenge $= x + y$ zurückgeben.

Der Dampf in der Maschine, während er unter dem Embolus sich ausdehnt, verhält sich wie die Luft bei konstantem Drucke; die zur Erhitzung und Ausdehnung des Dampfes nötige Wärmemenge ist $= X + Y$; bei der Abkühlung des Dampfes fehlt der Druck des Embolus, der Dampf kühlt sich ohne (oder bei weit geringerem) Aufwand von mechanischem Effekte ab; er gibt die Wärmemenge $= X$ zurück. Mit jedem Kolbenlaufe also ist ein Wärmeverlust $= Y$ verbunden, oder: die Leistung der Maschine ist an ein Konsumo von Wärme unzertrennlich geknüpft*).

Die Wärmemenge, welche zur Hervorbringung eines

---

*) Das abwechselnde Steigen und Fallen des belasteten Embolus würde an und für sich keineswegs einen fortlaufenden Kraftaufwand oder einen Wärmeverbrauch bedingen. Belastete Wagschalen spielen, in Bewegung gesetzt, von selbst fort; sie zeigen uns, wie das Pendel, ein abwechselndes Steigen und Fallen von Lasten ohne Kraftverbrauch; wäre dagegen die Vorrichtung getroffen, dass die Schalen in der Höhe entleert, in der Tiefe allemal wieder gefüllt würden, so könnte nur mit fortwährendem Kraftaufwand das Werkzeug im Gange erhalten werden. Wie die Leistung, so der Verbrauch. Soll die Dampfmaschine einen Nutzeffekt hervorbringen, so muss der Kolben belastet in die Höhe, leer aber wieder herabsteigen. Unter diesen Umständen nun wird Wärme konsumiert.

bestimmten mechanischen Effektes aufzuwenden ist, muss auf experimentalem Wege ermittelt werden.

Aus der Menge des in einer Dampfmaschine verzehrten Brennmaterials lässt sich der Totalaufwand von Wärme berechnen; den durch Strahlung, Mitteilung und Luftzug stattfindenden unwillkommenen Wärmeverlust hiervon abgezogen, bleibt die wirklich nutzbar aufgewendete Wärme, und diese entspricht der bekannten Leistung der Maschine. Da sich aber die weit überwiegende Menge der unbenutzt entweichenden Wärme nur schätzungsweise bestimmen lässt, so wird ein auch nur einigermassen zuverlässiges Resultat auf diesem Wege kaum zu erhalten sein.

Einfacher und schärfer lässt sich das Problem lösen durch Berechnung der Wärmemenge, die latent*) wird, wenn ein Gas unter einem Drucke sich ausdehnt. Ist die Wärme, welche ein Gas aufnimmt, das bei konstantem Volumen um t^0 erwärmt wird $= x$, die Wärme, deren das Gas zu derselben Temperaturerhöhung bei konstantem Drucke bedarf, $= x + y$, ist ferner das im letzteren Falle gehobene Gewicht $= P$, seine Höhe $= h$, so ist

$$y = P\,h.$$

Ein Kubikcentimeter atmosphärische Luft bei 0^0 und 0,76 m Barometer, wiegt 0,0013 Gramm; bei konstantem Drucke um 1^0 C. erwärmt, dehnt sich die Luft um $\frac{1}{274}$ ihres Volumens aus und hebt somit eine Quecksilbersäule von einem Quadratcentimeter Grundfläche und 76 Centimeter Höhe um $\frac{1}{274}$ Centimeter.

Das Gewicht dieser Säule beträgt 1033 Gramm. Die specifische Wärme der atmosphärischen Luft ist bei konstantem Drucke, die des Wassers $= 1$ gesetzt, nach *De-*

---

*) Die Begriffe des „Latent- und Freiwerdens“ der Wärme sind gleichbedeutend mit denen des Aufwandes und der Erzeugung. Wir können sagen: Bewegung wird „latent“, wenn die Richtung aufwärts, sie wird „frei“, wenn die Richtung abwärts geht. — Wärme ist latente Bewegung, Bewegung ist latente Wärme.

laroche und *Bérard* = 0,267; die Wärmemenge, die unser Kubikcentimeter Luft aufnimmt, um bei konstantem Drucke von 0 auf 1° zu kommen, ist also der Wärme gleich, durch welche 0,0013 . 0,267 oder 0,000347 Gramm Wasser um 1° erhöht werden. Nach *Dulong,* dem hierin die Mehrzahl der Physiker folgt, verhält sich die Wärmemenge, welche die Luft bei konstantem Volumen aufnimmt, zu der bei konstantem Drucke, wie 1 : 1,421; hiernach gerechnet ist die Wärmemenge, die unseren Kubikcentimeter Luft bei konstantem Volumen um 1° erhöht, $= \frac{0{,}000347}{1{,}41} = 0{,}000244$

12 Grad. Es ist folglich die Differenz $(x + y) - x$ oder $y = 0{,}000347 - 0{,}000244 = 0{,}000103$ Grad Wärme, durch deren Aufwand das Gewicht $P = 1033$ Gramm auf $h = \frac{1}{274}$ Centimeter gehoben wurde. Durch Reduktion dieser

13 Zahlen findet man nun

$$1^0 \text{ Wärme} = 1 \text{ Gramm auf } \left\{\begin{array}{l} 367 \text{ m} \\ 1130 \text{ Pariser Fuss} \end{array}\right\} \text{ Höhe}^*).$$

Das nämliche Resultat wird erhalten, wenn man statt der atmosphärischen Luft eine andre einfache oder zusammengesetzte Gasart der Berechnung unterlegt**). Das Gesetz

---

14 *) Die obigen Zahlen sind als die ursprünglichen, so wie ich das mechanische Wärmeäquivalent zuerst berechnet habe, auch in dieser Auflage unverändert beibehalten worden. Bekanntlich ist aber infolge der inzwischen durch *Regnault* gewonnenen genaueren Bestimmungen der hier in Rechnung kommenden Wärme- und Druckverhältnisse der Gase, das mechanische Aequivalent der Wärme statt wie oben = 367, den Experimentaluntersuchungen von *Joule* konform, = 424 bis 425 gefunden worden, und so soll von hier an diese letztere Zahl, 425, im Texte gebraucht werden. Es wäre hiernach oben zu setzen:

$$1^0 \text{ Wärme} = 1 \text{ Gramm auf } \left\{\begin{array}{l} 425 \text{ m} \\ 1308 \text{ Fuss} \end{array}\right\} \text{ Höhe.}$$

**) Mit andern Worten heisst dieses: Wenn die Wärmekapazität der atmosphärischen Luft bei konstantem Drucke = 1, die eines anderen Gases, auf das Volumen bezogen, = S, der Exponent des Verhältnisses der Kapazitäten unter gleichem Druck und unter gleichem Volumen bei der atmosphärischen Luft = 1,421, derselbe Exponent

„Wärme = mechanischer Effekt“ ist unabhängig von der Natur einer elastischen Flüssigkeit, die nur als Werkzeug dient, um die Umwandlung der einen Kraft in die andre zu bewerkstelligen.

Von den verschiedenen, unter sich wenig differierenden Angaben über die Verbrennungswärme des Kohlenstoffs, kommt die von *Liebig* der Wahrheit wohl am nächsten. *Liebig* findet aus direkten Versuchen *Dulongs*, nach dessen Tode von *Arago* publiziert, die Wärmemenge, welche 1 Gramm zu Kohlensäure verbrennender Kohlenstoff entwickelt, durch Rechnung = 8558°. (Annalen der Chemie von *Wöhler* und *Liebig* Bd. LIII. S. 73.)

Durch Verbrennung von einem Gewichtsteile Kohlenstoff müssen sich also 11 200 000 Gewichtsteile auf die Höhe von 1 Pariser Fuss, oder 3 600 000 Gewichtsteile auf 1 m Höhe heben lassen. Dieser Effekt würde erzielt werden, wenn jeder Wärmeverlust vermieden werden könnte. So wenig aber eine gegebene Menge von Chlor, Metall und Sauerstoff, ohne Bildung eines Nebenproduktes, in chlorsaures Salz sich verwandeln lässt, so wenig können wir eine gegebene Wärmemenge als Ganzes in Bewegung umsetzen.

Es ist eine Aufgabe der Technik, den ungewünschten

---

einer andern Gasart = K, so muss, unter der Voraussetzung eines gleichen Ausdehnungskoeffizienten,

$$S\,\frac{K-1}{K} = \frac{0{,}421}{1{,}421}.$$

Diese Konsequenz stimmt mit den Angaben *Dulongs* überein. Nach *Dulong* ist bei der Kohlensäure $S = 1{,}175$, $K = 1{,}338$, und es ist

$$1{,}175\,\frac{0{,}338}{1{,}338} = \frac{0{,}421}{1{,}421}.$$

Bei dem ölbildenden Gase ist $S = 1{,}531$, $K = 1{,}240$ und es ist wiederum nahe genau

$$1{,}531\,\frac{0{,}240}{1{,}240} = \frac{0{,}421}{1{,}421}.$$

— Auch *Dulongs* berühmtes Gesetz: dass alle elastischen Flüssigkeiten, wenn sie *ceteris paribus* um gleiche Volumenteile zusammengedrückt werden, gleiche absolute Wärmemengen entbinden, ergibt sich als notwendige Folgerung aus dem allgemeinen Satze „Wärme = mechanischer Effekt“.

Effekt der Verbrennung, die Wärmeentbindung nach aussen, im Verhältnis zum nutzbaren mechanischen Effekte möglichst klein zu machen. In den ersten *Watt*schen Maschinen war bei gleicher Leistung, nach *John Taylor*, der Kohlenverbrauch 17mal grösser als im Jahre 1828.

Derzeit können in den vorzüglichsten und unter den günstigsten Umständen arbeitenden Maschinen mit 1 Pfund Steinkohlen ca. ½ Million Pfund 1 Fuss hoch gehoben werden. Während demzufolge das Maximum des Nutzeffektes 5—6 Prozent vom Totalaufwande beträgt, geben dagegen viele Apparate, namentlich Lokomotiven, kein volles Prozent Nutzeffekt.

Kräftigere Leistung liefern die Geschütze. Rechnet man, dass einer 24pfündigen Kugel mittelst 8 Pfund Pulver, in welchem 1 Pfund Kohle enthalten ist, eine Geschwindigkeit von 1500 Fuss erteilt wird, so beträgt der mechanische Effekt etwas über 9 Prozent des aufgewendeten Kohlenstoffes. Es erhitzt sich aber auch bekanntlich ein scharfgeladenes Geschütz mit gleicher Pulverladung weniger stark, als ein blindgeladenes.

Angenommen die ganze Erdrinde könnte auf ringsum gestellten Säulen in die Höhe gehoben werden, so müsste zur Hebung der unermesslichen Last ein ungeheures Quantum Wärme verwendet werden.

Wenn es nun einleuchtet, dass die Volumensvermehrung des Erdkörpers, gleich der jeder andern Masse, mit dem „Latentwerden“ einer entsprechenden Wärmemenge verbunden ist, so ist auch klar, dass bei der Volumensverminderung eine gleiche Wärmemenge wieder frei werden muss. Was aber von der Erdrinde im ganzen gilt, das muss offenbar auch auf jeden Bruchteil eine Anwendung finden. Bei der Hebung des kleinsten Gewichtes muss Wärme (oder eine andre Kraft) latent werden; bei der Senkung des Gewichtes muss diese Wärme wieder zu Tage kommen.

Es wurde soeben (S. 56) gesehen, dass zur Hebung

eines Kilogrammgewichtes auf 425 m eine Wärmeeinheit, oder, wie wir auch sagen können, zur Hebung eines Grammgewichtes 1^0 Wärme erforderlich ist; woraus folgt: dass ein Kilogrammgewicht, welches 425 m hoch herabsinkt, durch Stoss oder Reibung wieder eine Wärmeeinheit (Kalorie) entbinden muss.

Durch herkömmliche Voraussetzungen über das Wesen einer bewegenden Kraft und einer Bewegung waren die Physiker verhindert, diese offenbare und in der Erfahrung fest begründete Thatsache einzusehen. *Newton,* Principia I, Definitio VIII. erklärt ausdrücklich die Schwere für eine *causa mathematica*, und warnt, sie für eine *causa physica* zu nehmen*). Diese wichtige Unterscheidung wurde aber von den Nachfolgern *Newtons* vernachlässigt; die Schwere oder die Ursache der Beschleunigung wurde für die Ursache der Bewegung genommen und damit eine Entstehung von Bewegung ohne Aufwand von Kraft statuiert, sofern beim Fallen eines Gewichtes von der Schwere nichts aufgewendet wird. In notwendiger Konsequenz mit ihrer Entstehungsweise liess man eine gegebene Bewegung nach Umständen wieder in ihr Nichts zurücksinken**).

Es finden sich hier also zwei kontradiktorische Gegensätze: Entweder eine gegebene Bewegung wird bei ihrem Verschwinden zu Null werden, oder aber sie wird eine ihr gleiche unzerstörliche Wirkung haben. Wenn wir uns unbedingt für das Letztere entscheiden, so berufen wir uns auf die Denkgesetze und auf die Erfahrung.

---

*) Die *causa mathematica Newtons*, *in specie* die Schwerkraft, wird auf die Zeit bezogen; sie ist die Ursache oder das Mass der *Beschleunigung.* Heisst die Kraft v, die Zeit t, die Geschwindigkeit c, so ist $v = \frac{dc}{dt}$ $\left[v = m\,\frac{dc}{dt}\right]$. Die Fallkraft dagegen bezieht sich auf den Fallraum; sie ist die *causa physica*, die Ursache oder das Mass der *Bewegung.* Heisst die Kraft r, die Masse m, die Geschwindigkeit c, so ist $v = m\,c^2$ $\left[v = \frac{m\,c^2}{2}\right]$.

**) Der mathematische Ausdruck für dieses zweite Paradoxon ist das sogenannte *Cartesische Mass der Kräfte* ($v = mc$).

Schöpfen wir aus einem Bassin, aus einem See oder aus dem Weltmeere ein Glas Wasser, so werden wir die hierdurch bedingte Abnahme der grossen Wassermenge nicht wahrnehmen können. Wenn man aber zugeben wollte, dass die Gewässer durch Entziehung einiger Unzen Flüssigkeit keine Substanzverminderung erfahren würden, so müsste notwendig gefolgert werden, dass diese Unzen aus dem Nichts erschaffen werden —, und dem Meere zurückgegeben, wiederum zu Nichts verschwinden könnten.

Der gleiche Schluss gilt für die Kräfte. Wir wollen also fragen: ist die bewegende Kraft, die einem 15 Fuss hoch auf den Erdboden herabfallenden Gewichte die Geschwindigkeit von 30 Fuss erteilt, eine konstante? Hierauf pflegt man zu antworten: die Ab- und Zunahme der Gravitation darf bei so geringen Höhen füglich ausser acht gelassen werden; also „Ja“. Wir sagen „Nein“. Wenn die Kraft konstant wäre, so müsste sie in einer entsprechenden Zeit eine beliebig grosse Bewegung hervorbringen können; dazu fehlt aber viel. Die Geschwindigkeit, welche ein gegen die Erde fallendes Gewicht erlangen kann, hat ein Maximum; es beträgt dasselbe 34 450 Fuss (11 200 m) in einer Sekunde; mit dieser Geschwindigkeit G wird eine aus unendlicher Entfernung herabfallende Masse m auf der Oberfläche der Erde T anlangen. Die aus dem totalen räumlichen Abstande der Massen T und m resultierende bewegende Kraft, oder die totale Fallkraft von m ist also $= m\,G^2$ $\left[\frac{m\,G^2}{2}\right]$. Die aus einem partialen Abstande der Massen resultierende partiale Kraft ist ein leicht zu berechnender
17 Bruchteil der totalen Kraft. Für terrestrische Höhen*)

---

*) Allgemein ist der Zähler die Fallhöhe, der Nenner aber das Produkt der anfänglichen Entfernung der Schwerpunkte beider Massen in die übrig bleibende Entfernung derselben, den Erdhalbmesser als Einheit des Längenmasses gesetzt. Ein Gewicht, das auf der Höhe h zu fallen beginnt, hat auf der Höhe h' die Geschwindigkeit $= G \sqrt{\frac{h - h'}{h \cdot h'}}$.

ist der Zähler dieses Bruches der Fallraum, der Nenner der Erdhalbmesser. Durch Herabfallen der Masse von 15 Fuss Höhe wird also eine Bewegungsgrösse erhalten $= m\,G^2\,\frac{15}{19\,609\,050}\left[\frac{m\,G^2}{2}\,\frac{15}{19\,609\,050}\right]$, oder es ist die Geschwindigkeit, mit der m auf dem Boden anlangt, gleich $G\sqrt{\frac{15}{19\,609\,050}}$.

Wenn das Gewicht aus unendlicher Höhe bis auf eine Entfernung von 15 Fuss gegen die Erde herabgefallen ist, so sind $\frac{1\,299\,999}{1\,300\,000}$ der totalen Fallkraft verwendet worden; $\frac{1}{1\,300\,000}$ dieser Kraft ist noch übrig, und unter dem Aufwande dieser verhältnismässig allerdings sehr kleinen Kraft wird die verhältnismässig ebenso kleine Wirkung, die Bewegung von m mit 30 Fuss Geschwindigkeit, erzielt. Es ist also klar, dass die Fallbewegung keine Ausnahme des axiomatischen Satzes der Proportionalität von Bewegung und Kraftaufwand begründet. Null ist der Kraftaufwand bloss dann, wenn ein Gewicht nur drückt und nicht zugleich sich senkt. Eine konstante Kraft, eine solche, welche Wirkung äussert, ohne abzunehmen, gibt es für den Physiker nicht. —

Die Verwandlung von mechanischem Effekt in Wärme lehrt uns allenthalben die Erfahrung. Die hierher einschlagenden Thatsachen, die Wärmeentwickelung bei Stoss und Reibung, sind alt und längst bekannt; sind sie aber darum minder beweiskräftig? Man gehe und beobachte die Erwärmung der grossen Mühlsteine und des Mehles in der Mahlmühle, die Erwärmung der mächtigen Läufer und des Oelsamens in der Oelmühle, der Farbhölzer in der Farbmühle, die ewige Wärmeentwickelung an der Achse aller bewegten Räder; man erinnere sich der *Rumford*schen Versuche! Ueberall die gleiche Erscheinung: endlose Wärmeentwickelung unter Aufwand von mechanischem Effekt. 18

Der Verfasser stellte in einer Papierfabrik an vier Hol-

ländern Beobachtungen an. In jedem Holländer befanden sich circa 80 Pfund Papiermasse und 1200 Pfund Wasser. Die Temperatur des Breies stieg vom Einsetzen an fortwährend. Die Umgebung zeigte 15° Wärme; in 32 bis 40 Minuten stieg die Wärme des Breies von 14° auf 16°. Die beobachtete höchste Temperatur, welche sich mehrere Stunden lang bis zum Ableeren gleichförmig erhalten hatte, war in einem Holländer = 30°. Rechnet man nun, dass durch eine Pferdekraft in einer Minute 27 000 Pfund 1 Fuss hoch gehoben werden, so ist die Erwärmung von 1280 Pfund Wasser (nicht gerechnet die des Apparates) um 1° in 16 Minuten, das Aequivalent für 3,16 Pferdekräfte, was mit der schätzungsweisen Bestimmung des Technikers, dass zum Betrieb eines Holländers ein Totalaufwand von circa 5 Pferdekräften erforderlich sei, hinlänglich genau übereinstimmt. Wird nun der mechanische Effekt, den die 5 Pferde liefern, in der Maschine zu Null? Die Thatsache spricht: er wird zu Wärme.

Die wichtigsten physikalischen Sätze, welche sich auf die Umwandlung der Bewegung in Wärme beziehen, sind in Kürze folgende:

1. Eine negative Bewegung ist, wie eine negative Materie, eine imaginäre Grösse. Die Vernichtung einer positiven Bewegung durch eine negative ist ein Paradoxon.

2. Wie das Quantum einer Materie durch das absolute Gewicht, so wird das Quantum einer Bewegung durch das Produkt der Masse in das [halbe] Quadrat der Geschwindigkeit bestimmt. Der Cartesische Satz: Kraft = dem Produkt der Masse in die Geschwindigkeit, ist falsch und bereits
19 von *Leibnitz* widerlegt.

3. Wie sich Materien von entgegengesetzter Qualität, eine elektropositive Basis und eine elektronegative Säure, neutralisieren, so heben sich Bewegungen von entgegengesetzter, von positiver und negativer Richtung zusammen auf. Das in veränderter Qualität, aber in unveränderter Quantität fortbestehende Gegebene ist dort das Neutralsalz, hier die Wärme.

4. Das Verhältnis, in welchem die Quanta der sich neutralisierenden Materien oder Bewegungen zu einander stehen, ist in der Regel nicht das der Gleichheit; es hängt dasselbe vielmehr von dem Quale dieser Objekte ab. Säure und Basis neutralisieren sich, wenn die Quanta ihren Mischungsgewichten, — Bewegungen von entgegengesetzter Richtung aber, wenn die Quanta ihren Geschwindigkeiten proportional sind. Bei der Neutralisation und bei der Produktion der Bewegungen spielt die Geschwindigkeit die Rolle des Mischungsgewichtes. — In der Mechanik wird dieses Gesetz unter dem Namen: „Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten“ aufgeführt.

4.

Eine vierte Erscheinungsform der physischen Kraft ist die *Elektrizität*. Die Reibungs- und die Verteilungselektrizität wird unter dem Aufwande von mechanischem Effekt erzeugt.

Wir haben vor uns einen Elektrophor von idealer Vollkommenheit. Der Deckel hat das Gewicht P und befindet sich auf der Höhe h ausserhalb der Wirkungssphäre der Unterscheibe. Ein angebrachtes Gegengewicht hält dem Deckel, während er auf- und absteigt, die Balance. Mag nun die Unterscheibe elektrisiert sein oder nicht, so kann, insofern von der Reibung u. s. w. abgesehen wird, der Deckel fortwährend auf und ab bewegt werden, ohne Aufwand von mechanischem Effekt, unter der Bedingung, dass dem Deckel keine elektrischen Effekte entzogen werden. Anders verhält sich die Sache, wenn der Elektrophor arbeitet. Wird der Deckel auf die nicht elektrisierte Basis herabgeführt, so ist das gewonnene Produkt des balancierenden Gegengewichtes in seine Höhe $= P\,h$; ist der Kuchen elektrisch, so wird der herabsteigende Deckel angezogen, das gewonnene Produkt muss $> P\,h$ werden; es sei $= P\,h + p$. Auf der Unterscheibe liegend, ist der Deckel im stande, einen elektrischen Effekt auszuüben; dieses ist geschehen, derselbe ist bestimmt worden und $= z$

gefunden. Jetzt ist die Anziehung noch verstärkt und zur Hebung des Deckels bedarf es *eines noch grösseren* Gegengewichtes; das Produkt desselben in seine Höhe wird $> Ph + p$; es sei $= Ph + p + x$. Auf h erhalten wir den zweiten elektrischen Effekt z' u. s. f. Bei jeder Senkung ist nun das gewonnene Produkt $= Ph + p$, bei jeder Erhebung aber das verlorene Produkt $= Ph + p + x$. Während wir also jedesmal einen mechanischen Effekt $= x$ aufwenden, gewinnen wir den elektrischen Effekt $z + z'$. So ist folglich:

$$x = z + z'.$$

Der Schluss ist einfach. Aus Nichts wird Nichts. Die Elektrizität des Harzkuchens kann, da sie sich unvermindert erhalten hat, die fortlaufende Summe elektrischer Effekte nicht hervorgebracht haben; der bei jedem Turnus verschwundene mechanische Effekt kann nicht zu Null geworden sein. Was bleibt übrig, wenn man sich nicht in einem doppelten Paradoxon gefällt? nichts, als auszusprechen: der mechanische Effekt ist in Elektrizität verwandelt worden*). Die elektrische Unterscheibe, wie der

---

*) Aus der näheren Betrachtung der Grösse x in der Aequation $x = z + z'$, ergibt sich, dass die Grösse der elektrischen Kraft, oder das Quantum der Elektrizität, proportional ist dem Quadrate der elektrischen Spannung, oder dem Quadrate der sogenannten Dicke der elektrischen Schicht.

Beweis. Die gegebene — elektrische Spannung des Harzkuchens sei $= S$, die Spannung der + Elektrizität des Deckels, nach Ableitung seiner — Elektrizität, $= \frac{1}{q} S$ (wo q eine Konstante, die mit der wachsenden Vollkommenheit des Apparates sich der Einheit nähert). Die Grösse der Anziehung oder Abstossung zweier elektrischer Körper ist nach den direkten Messungen *Coulombs* gleich dem Produkte ihrer Spannungen. Die Anziehung zwischen der — elektrischen Harzscheibe und dem + elektrischen Deckel ist also bei der Berührung $= \frac{1}{q} S^2$, oder es ist dieselbe dem Quadrate der gegebenen Spannung des Kuchens proportional. Da nun die Grösse der Anziehung in jedem Punkte der Bahn umgekehrt proportional ist dem Quadrate der Entfernung, so ist der mechanische Effekt $p + x$, welcher aufgewendet werden muss,

Hebel, die Retorte, ist nichts weiter als ein Instrument, dessen sich der Experimentator bedient, eine Metamorphose zu bewerkstelligen.

Ein in Schwingung versetztes Pendel macht, wenn man Reibung und Luftwiderstand beseitigt, gleichförmige Exkursionen. Schwingt aber ein metallenes isoliertes Pendel an einem elektrischen Nichtleiter, z. B. an einem elektrischen Harzkuchen, vorbei, und entzieht man dem Pendel abwechselnd in der Anziehungssphäre des elektrischen Körpers einen $\mp$, in der Entfernung von demselben einen $\pm$ Funken, so wird durch die jetzt eintretenden Anziehungsverhältnisse der Elongationswinkel fortwährend kleiner. Der als Pendelschwingung gegebene mechanische Effekt wird successiv in elektrische Effekte verwandelt.

Die Erzeugung der Reibungselektrizität erfolgt ebenfalls unter dem Aufwande von mechanischem Effekt. Die sich berührenden Stoffe halten sich mit den gebildeten entgegengesetzten Elektrizitäten fest; die zur Erregung elektrischer Effekte notwendige Trennung dieser Stoffe kann ohne Aufwand an mechanischem Effekte nicht vor sich gehen. Bekannt ist auch, dass bei der Bildung von Reibungselektrizität die Reibungswärme fehlt.

Bei der „Mitteilung“ der Elektrizität kehren sich die soeben erörterten Anziehungsverhältnisse um, und es wird

---

um den aufliegenden $+$elektrischen Deckel aus der $-$elektrischen Atmosphäre zu entfernen und auf h zu heben, der Grösse der Anziehung, oder auch S^2 direkt proportional. Nun sieht man ein, dass sowohl das Verhältnis $p : x$, als das von $z : z'$, von der Grösse S unabhängig ist, dass also $p + x$ sowohl als z, und $z + z'$ sowohl als z', dem Quadrate von S, oder dem Quadrate von $\frac{1}{q} S$ proportional ist; da aber $\left(\frac{1}{q} S\right)^2$ gleich ist dem Quadrate der Spannung der $+$Elektrizität des Deckels auf h, z' aber gleich dem elektrischen Effekt, der dem Deckel auf h zukommt, so verhält sich der Effekt oder die Grösse der elektrischen Kraft wie das Quadrat der Spannung, und es ist

die Grösse der elektrischen Kraft, bei stattfindender gleichförmiger Ausbreitung, = dem Produkte der Oberfläche in das Quadrat der Spannung.

unter einem Aufwand von elektrischer Kraft mechanischer Effekt erzeugt. Bei jeder Mitteilung wird ein Teil der Elektrizität, wie die Bewegung beim unelastischen Stosse, neutralisiert. Die wichtigsten hiehergehörigen Gesetze sind dieselben, wie sie schon bei der Neutralisation der Bewegung S. 62 aufgeführt wurden. Was bei der Bewegung „Masse und Geschwindigkeit“, das ist bei der Elektrizität „Oberfläche und Spannung“. Die Dynamik der Bewegung kann sich indessen auf die Betrachtung zweier Kräfteformen, der Bewegung und der Wärme, beschränken und ist deswegen in ihrer Darstellung einfacher als die der Elektrizität, welche drei Kräfte zugleich ins Auge zu fassen hat.

Der Elektrizitätserzeugung ganz analog lässt sich der Magnetismus unter Aufwand von mechanischem Effekt durch Verteilung erregen. Der gegebene Magnet spielt die Rolle des Elektrophors; durch ein Magnetischwerden der zuvor indifferenten Stahlstange treten ganz dieselben Anziehungsverhältnisse ein, wie sie oben in dem Beispiele vom Elektrophor genauer betrachtet wurden. Das Resultat ist ein gleiches wie dort: Aufwand von mechanischem Effekt, Erzeugung einer $\left\{\begin{array}{l}\text{elektrischen}\\ \text{magnetischen}\end{array}\right\}$ Spannung.

5.

Den räumlichen Abstand der Masse, *in specie* der Erde und eines Gewichtes, haben wir oben als eine Kraft kennen gelernt. Ein Grammgewicht in unendlicher*) Ent-

---

*) Der Begriff einer unendlichen Entfernung ist hier im physischen und nicht im mathematischen Sinne zu nehmen, und unter demselben „die physische Grenze der Anziehungssphäre“ der Erde zu verstehen. Eine solche Grenze ist allerdings mathematisch nicht vorhanden, es darf aber bei physikalischen Untersuchungen von ihr mit ebendemselben Rechte als von einer Grenze der elektrischen Atmosphäre etc. gesprochen werden. Setzt man beispielsweise statt einer unendlichen

fernung — oder wie wir kürzer sagen wollen: in mechanischer Trennung von der Erde — stellt eine Kraft dar; durch den Aufwand dieser Kraft, d. h. durch die mechanische Verbindung beider Massen, wird eine andre Kraft erzeugt: die Bewegung eines Grammgewichtes mit der Geschwindigkeit von 34450 Fuss; durch den Aufwand dieser Bewegung lässt sich 1 Gramm Wasser um 14987° erwärmen.

Die Erfahrung lehrt nun, dass derselbe Effekt, wie bei der mechanischen Verbindung, eine Wärmeentwickelung nämlich, erzielt wird durch die chemische Verbindung gewisser Materien. Das chemisch-getrennte Vorhandensein oder kürzer

die chemische Differenz der Materie ist eine Kraft.

Die chemische Verbindung von 1 Gramm Kohlenstoff und 2,6 Gramm Sauerstoff ist nahezu äquivalent der mechanischen Verbindung von ½ Gramm Gewicht mit der Erde; durch beide werden 8500° resp. 7400° Wärme erhalten. Die chemische Verbindung von 1 Gramm Wasserstoff (die Verbrennungswärme desselben nach *Dulong* = 34743° angenommen) mit 8 Gramm Sauerstoff ist nahe äquivalent der mechanischen Verbindung von 2 Gramm Gewicht mit

---

Entfernung von der Erde eine von 10000 Erdhalbmessern, so genügt eine solche für die hier betrachteten Fälle vollkommen. — Die mathematische Exposition der Gravitationserscheinungen muss mit der Betrachtung entweder eines unendlich grossen oder eines unendlich kleinen Raumes beginnen und zu konkreten messbaren Räumen sofort entweder ab- oder aufsteigen. Keine dieser beiden Methoden kann die andre überall ersetzen. Vom physikalischen Standpunkte aus betrachtet hat aber die Methode, mit dem unendlich Grossen zu beginnen, den entscheidenden Vorzug, dass die wahre Natur der Anziehung, ihre in die Entfernung abnehmende Intensität nämlich, von vornherein in den Begriff aufgenommen ist. Nur auf diese Weise lässt sich der Zusammenhang, die innere Einheit mechanischer, elektrischer und chemischer Prozesse zur völligen Klarheit bringen. Die andre Methode beginnt mit der Vernichtung des physischen Begriffes der Anziehung, indem sie die Anziehung als eine — in dem unendlich kleinen Raume — konstant wirkende Grösse betrachtet. (Vergl. o. S. 59.)

der Erde; die Wärmeentwickelung bei beiden ist = 34 700° resp. 30 000°.

Wenn für kleine Raumabstände und Geschwindigkeiten die Energie der mechanischen Effekte, den ausgezeichneteren chemischen Kräften gegenüber, sehr in den Hintergrund treten, so finden wir umgekehrte Verhältnisse, wenn wir die Blicke über unsre Umgebung hinweg den Himmelsräumen zuwenden.

Unter allen irdischen Stoffen liefert das Knallgas bei seiner Verbindung die grösste Wärmemenge; 1 Gramm gibt bei der Umwandlung in Wasser 3850°; 1 Gramm Kohlen- und Sauerstoffgemenge gibt 2370°. Da aber 15 000° Wärme aufgewendet werden müssen, um 1 Grammgewicht aus der Anziehungssphäre der Erde zu entfernen, so folgt daraus, dass auf Erden keine chemische Differenz existiert, durch deren Aufwand soviel Wärme gewonnen würde, als zur mechanischen Trennung der neuentstandenen Verbindung von dem Erdkörper erforderlich ist. Dagegen werden auf dem Monde 777° Wärme hinreichen, um ein Grammgewicht seinem Bereiche zu entführen.

Die Erde bewegt sich in ihrer Bahn mit einer mittleren Geschwindigkeit von 93700 Fuss. Um diese Bewegung durch Verbrennung von Kohlenstoff zu erzeugen, müsste das 13fache Gewicht der Erde als Kohle verbrannt werden, und die dadurch entbundene Wärmemenge würde wiederum hinreichen, um ein der Erde gleich schweres Quantum Wasser auf 110000° zu erhöhen; ein kleiner Teil der Kraft, mit der die Erde sich in ihrer Bahn bewegt, wäre mithin im stande, allen mechanischen Zusammenhang der irdischen Massenteile völlig aufzuheben. — Angenommen aber, eine der Erde gleich schwere Masse liege ruhend auf der Sonnenoberfläche, so wäre, um diese Last in die Entfernung zu heben, in welcher unsre Erde sich befindet und um ihr hier die Geschwindigkeit von 93700 Fuss zu erteilen (die Entfernung der Erde = 215 Sonnenhalbmesser gesetzt), ein noch 429mal grösserer Kraftaufwand oder ein 5557faches Gewicht der Erde an Kohlenstoff erforderlich u. s. w.

Da die chemischen Kräfte zur Hervorbringung solcher Effekte als unzureichend erscheinen, so kann gefragt werden, wie man sich einen Kraftaufwand vorstellen könne, der die planetarischen Bewegungen einstens möchte hervorgebracht haben? Angenommen: die Erde sei „am Anfang“ 430 Sonnenhalbmesser vom Mittelpunkte der Sonne entfernt und ruhend gewesen und von hier aus 215 Halbmesser gegen die Sonne bis in ihre nunmehrige Entfernung herabgefallen, so müsste sie durch diesen Fall ihre jetzige Bewegungsgrösse erlangt haben. Das nämliche lässt sich von allen Planeten sagen. Die grossen Achsen ihrer Bahnen geben das Mass für die ursprünglich gegebene Entfernung der zuerst als ruhend gedachten Himmelskörper; die grossen Achsen sind der Ausdruck für die von dem Schöpfer jedem Planeten gegebene Grösse des mechanischen Effektes; sie stehen fest wie die Vergangenheit.

Fragt man, warum die zuerst als ruhend angenommenen Planeten nicht senkrecht auf die Sonne herabgefallen sind, warum die Planeten fast alle mit geringer Excentrizität ihrer Bahnen in einer und derselben Ebene und in der nämlichen Richtung um die Sonne laufen u. dgl. m., so müssen abermals Hypothesen und immer neue Hypothesen die Antwort sein, denn:

Das eben ist der Fluch der bösen That,
Dass sie fortzeugend immer Böses muss gebären. —

Merkwürdigerweise gibt es auch Verbindungen, deren Trennung unter Entwickelung von Wärme und mechanischem Effekte vor sich geht. Solche Verbindungen entstehen niemals für sich allein, sondern erfolgen nur in Gemeinschaft mit chemischen Prozessen, welche von einer Wärmeentbindung begleitet sind. Wir müssen annehmen, dass die Wärme, welche bei der einen Verbindung entsteht, nach chemischer Ausdrucksweise: *im status nascens,* in die detonierende Verbindung teilweise eingeht. Wird eine gleiche Menge Chlorgas das eine Mal mit einer Salmiak-, das andre Mal mit einer Ammoniakauflösung vereinigt, so ist, wie der Verfasser fand, die Wärmeentwickelung im letzten Falle viel beträchtlicher,

als im ersten. Den Grund hiervon müssen wir zum Teil darin suchen, dass bei der Bildung des Chlorstickstoffs Wärme „latent“ wird, die bei der Zersetzung als freie Wärme und als mechanischer Effekt wieder erscheint.

Das was Chlor und Wasserstoff in chemischer Trennung, das ist Chlor und Stickstoff in chemischer Verbindung: eine Kraft. Vergleichen wir damit gewisse mechanische Verhältnisse: Ein gehobenes Gewicht ist eine Kraft; ein gesenktes Gewicht, das unter Aufwand von einem weiteren mechanischen Effekte eine starke Feder niedergedrückt hat und nach Entfernung des Widerstandes in die Höhe geschleudert wird, stellt in seinem tiefsten Stande ebenfalls eine Kraft dar. Die Feder aber und den Widerstand kennen wir bei der chemischen Verbindung nicht, denn die Elastizität des freigewordenen Chlors und Stickstoffs lässt sich der Spannung der Feder nicht vergleichen, insofern diese Elastizität Folge und nicht Ursache ist von der bei der Zersetzung entwickelten Kraft.

Fasst man eine Zink- und eine Kupferplatte an isolierenden Stäben, bringt sie miteinander in Berührung und trennt sie sofort wieder, so hat die erste Platte eine +, die zweite eine — elektrische Spannung erhalten. Vor der Berührung waren die Metalle neutral, nach der Berührung sind sie entgegengesetzt elektrisch; um die Trennung zu bewirken, ist also ein Aufwand von mechanischem Effekt, wie bei der Erregung von Verteilungselektrizität durch den Elektrophor, erforderlich. Andre Verhältnisse treten ein, wenn die Platten vereinigt bleiben. An die Stelle der mechanischen Kraft tritt hier eine chemische; unter dem Aufwande der chemischen Trennung von Metall und Sauerstoff entsteht eine Summe von Wirkungen, wie wir sie bereits im einzelnen betrachtet haben. Mittelst des Hebels verwandeln wir eine gegebene Fallkraft in eine andre, wir opfern einen gegebenen räumlichen Abstand auf, um einen

andern räumlichen Abstand zu erzeugen. Der wunderbare Hebel des Chemikers ist die Säule; die Reduktionserscheinungen und die Entwickelung von Wärme und mechanischem Effekt, welche wir als Wirkungen der Säule auftreten sehen, verdanken ihre Entstehung dem Aufwande einer Kraft, dem gegebenen Abstand von Metall und Sauerstoff, von Salz und Säure. Die Gleichheit von Ursache und Wirkung wird durch den *Grove*schen Gasapparat zur unmittelbaren Anschauung gebracht.

Fassen wir das Resultat bisheriger Untersuchungen in einem allgemeinen Satze zusammen, so erhalten wir wieder das eingangs aufgestellte Axiom. Es heisst:

Bei allen physikalischen und chemischen Vorgängen bleibt die gegebene Kraft eine konstante Grösse.

Zur Uebersicht der bisher betrachteten Hauptformen der Kräfte diene folgendes Schema:

I. **Fallkraft** — A. *einfache.* — B. *undulierende, vibrierende.* } *mechanische Kräfte,*

II. **Bewegung** } *mechanischer Effekt.*

IMPONDERABILIEN.

III. **Wärme**

IV. **Magnetismus**

Elektrizität, Galvanischer Strom.

V. **Chemisches Getrenntsein** gewisser Materien.

Chemisches Verbundensein gewisser andrer Materien.

} *chemische Kräfte.*

21 An diese Aufstellung von fünf Hauptformen der physikalischen Kraft reiht sich die Aufgabe, die Metamorphosen dieser Formen durch fünfundzwanzig Experimente zu beweisen. Aus der Zahl der einfachsten und wichtigsten Thatsachen stellen wir hier folgende übersichtlich zusammen:

1. Die Verwandlung einer *Fallkraft* in eine zweite: durch den Hebel;
2. einer *Fallkraft* in *Bewegung:* durch den freien Fall und durch den Fall auf vorgeschriebenen Wegen.
3. Die Verwandlung einer *Bewegung* in eine zweite: vollständig durch den centralen Stoss gleich grosser elastischer Massen, unvollständig durch Stoss und Reibung;
4. einer *Bewegung* in *Fallkraft:* bei aufwärtsgehender Richtung der Bewegung. Alternierend erfolgt eine Verwandlung beider Kräfte: bei den Pendelschwingungen und den Centralbewegungen der Himmelskörper.
5. u. 6. Verwandlung von *mechanischem Effekt* in *Wärme:* bei der Kompression elastischer Flüssigkeiten, bei Stoss und Reibung; die Aufsaugung des Lichtes besteht in einer Verwandlung von vibrierender Bewegung in Wärme.
7. u. 8. Die Verwandlung der *Wärme* in *mechanischen Effekt* erfolgt bei der Ausdehnung der Gasarten unter einem Druck, in der Dampfmaschine; *in vibrierende Bewegung:* beim Leuchten und Strahlen erhitzter Körper.
9. Verwandlung der gegebenen *Wärme* in eine andre: durch Leitung;
10. von *Wärme* in *chemische Differenz:* wenn Verbindungen durch Wärme zerlegt werden, die unter Wärmeentwickelung eingegangen wurden; z. B. die Verbindungen von Schwefelsäurehydrat mit Wasser; von Kalkerde mit Wasser.
11. Die Verwandlung von *chemischer Differenz* in *Wärme* erfolgt bei der Verbrennung.
12. 13. 14. Die Verwandlung *chemischer Differenz* in den *galvanischen Strom* und wieder in eine andre *chemische*

Differenz, sowie die des *Stromes* in *chemische Differenz*, bei den Aktionen der Säule.

15. 16. 17. Die Verwandlung der *Elektrizität* in *Wärme* und *mechanischen Effekt:* bei den Glühungserscheinungen des Leitungsdrahtes, dem elektrischen Funken, den elektrischen und elektromagnetischen Anziehungsbewegungen, den elektrischen Schlägen, insbesondere bei dem Blitzstrahle.

18. Eine teilweise Verwandlung eines *Stromes* in einen andern gibt der induzierte Strom.

19. Die *Wärme* wird in *Elektrizität* verwandelt: bei den Erscheinungen der Thermoelektrizität und bei der Kälteerzeugung in der galvanischen Kette nach *Peltier.*

20. 21. Bei der Erregung der Elektrizität durch Reibung und Zerteilung wird *mechanischer Effekt* in *Elektrizität* verwandelt, und endlich erfolgt

22.—25. die Verwandlung von *mechanischem Effekt* in *chemische Differenz,* und die der *letzteren* in den *ersteren:* mittelbar durch Umwandlung der gegebenen Kraft in Elektrizität und in Wärme.

Vorurteile, sanktioniert durch Alter und Verbreitung, die ersten Sinneseindrücke mit ihrem zweideutigen und doch so bestechenden Zeugnisse, nicht die Naturerscheinungen treten in Widerspruch mit den aufgestellten Sätzen. Gegen jene appellieren wir an die Geschichte aller Wissenschaften.

Während wir der *Bewegung* das Recht zu Sein, die Substanzialität, *alta voce* vindizieren, müssen wir der *Wärme* und der *Elektrizität* eine Materialität unbedingt absprechen. Denn wäre es nicht gar zu ungereimt, das Wesen der Bewegung und des räumlichen Abstandes der Massen in einem Fluidum suchen, oder ein abwechselnd bald materiell — bald immateriell — Sein eines und desselben Objektes statuieren zu wollen?

Sprechen wir es aus, die grosse Wahrheit: „Es gibt keine immateriellen Materien!“

Wohl fühlen wir, dass wir mit den eingewurzeltsten, durch grosse Autoritäten kanonisierten Hypothesen in den

Kampf gehen, dass wir mit den *Imponderabilien* die letzten Reste der Götter Griechenlands aus der Naturlehre verbannen wollen; aber wir wissen auch, dass die Natur in ihrer einfachen Wahrheit grösser und herrlicher ist, als jedes Gebild von Menschenhand und als alle Illusionen des erschaffenen Geistes.

Die Sonne ist eine nach menschlichen Begriffen unerschöpfliche Quelle physischer Kraft. Der Strom dieser Kraft, der sich auch über unsre Erde ergiesst, ist die beständig sich spannende Feder, die das Getriebe irdischer Thätigkeiten im Gange erhält. Bei der grossen Menge von Kraft, welche unsre Erde in den Weltenraum als wellenförmige Bewegung fortwährend hinausschickt, müsste ihre Oberfläche, ohne beständigen Wiederersatz, alsbald in Todeskälte erstarren. Das Licht der Sonne ist es, welches, in Wärme verwandelt, die Bewegungen in unsrer Atmosphäre bewirkt und die Gewässer zu Wolken in die Höhe hebt und die Strömung der Flüsse hervorbringt; die Wärme, welche von den Rädern der Wind- und Wassermühlen unter Reibung erzeugt wird, diese Wärme ist der Erde von der Sonne aus in Form einer vibrierenden Bewegung zugesendet worden.

Die Natur hat sich die Aufgabe gestellt, das der Erde zuströmende Licht im Fluge zu haschen und die beweglichste aller Kräfte, in starre Form umgewandelt, aufzuspeichern. Zur Erreichung dieses Zweckes hat sie die Erdkruste mit Organismen überzogen, welche lebend das Sonnenlicht in sich aufnehmen und unter Verwendung dieser Kraft eine fortlaufende Summe chemischer Differenz erzeugen.

Diese Organismen sind die *Pflanzen*. Die Pflanzenwelt bildet ein Reservoir, in welchem die flüchtigen Sonnenstrahlen fixiert und zur Nutzniessung geschickt niedergelegt werden; eine ökonomische Fürsorge, an welche die physische Existenz des Menschengeschlechtes unzertrennlich geknüpft ist und die bei der Anschauung einer reichen Vegetation in jedem Auge ein instinktartiges Wohlgefallen erregt.

Die reduzierenden Wirkungen, welche das Sonnenlicht auf anorganische und organische Substanzen ausübt, sind allenthalben bekannt. Die Reduktion erfolgt am stärksten im hellen Sonnenlichte, schwächer im Schatten, und fehlt ganz im dunkeln und beim Kerzenlichte; sie beruht nach dem Obigen auf der Umwandlung einer gegebenen Kraft in eine andre, auf der Umwandlung von mechanischem Effekt in chemische Differenz.

Die Zeit liegt nicht ferne hinter uns, wo die Streitfrage verhandelt wurde, ob die Pflanze während des Lebens chemische Urstoffe zu verwandeln, oder gar zu erzeugen im stande sei. Thatsachen, Experimente schienen bejahen zu wollen, eine genauere Prüfung aber hat das Gegenteil gelehrt, und die Wissenschaft hat mit Sicherheit ein einstimmiges „Nein“ ausgesprochen. Wir wissen, dass die Materien, um welche eine Pflanze zunimmt, und die, welche von der Pflanze ausgeschieden werden, in Summa den aufgenommenen Materien gleich sind. Der Baum, welcher viele tausend Pfunde wiegt, hat jeden Gran Materie von seiner Umgebung aufgenommen. Es findet in der Pflanze nur eine Umwandlung, nicht eine Erzeugung von Materie statt.

Dieser Satz bildet die verbindende Brücke zwischen Chemie und Pflanzenphysiologie; seine Wahrheit ist mehr *a priori* einleuchtend, als durch Versuche, welche überall keine Einrede zulassen würden, in den einzelnen Fällen zu erweisen. Die gleichen Gründe wie dort bestimmen uns nun, anzunehmen, dass die Pflanzen auch eine *Kraft* nur zu verwandeln, nicht aber zu erschaffen vermögen.

Die Pflanzen nehmen eine Kraft, das Licht, auf, und bringen eine Kraft hervor: die chemische Differenz. Das Gesetz des logischen Grundes nötigt den Naturforscher, die Leistung mit dem Aufwande in Kausalzusammenhang zu bringen. Dieser Aufwand, oder die Lichtaufnahme, ist, wie wir seit *Saussure* wissen, das notwendige Erfordernis zu einer Leistung, zur Reduktion. 22

Zuerst muss nun gefragt werden, ob das Licht, welches

auf lebende Pflanzen fällt, wirklich eine andre Verwendung findet, als das Licht, welches tote Körper trifft; d. h. ob die Pflanzen *ceteris paribus* durch das Licht weniger stark erwärmt werden als andre dunkle Flächen? Die Resultate, welche die hierüber im kleinen angestellten Beobachtungen geben können, scheinen innerhalb der Fehlergrenzen solcher Versuche zu fallen; dagegen lehrt die alltägliche Erfahrung, dass die erhitzende Wirkung der Sonnenstrahlen auf weite Flächen Landes durch nichts so sehr gehemmt wird, als durch eine reiche Vegetation, obgleich die Pflanzen, der dunkeln Farbe ihrer Blätter wegen, einen grösseren Teil des auf sie fallenden Sonnenlichtes aufnehmen müssen, als der kahle Boden. Wenn nun zur Erklärung dieser Thatsache die Ausdünstung der Pflanzen nicht ausreicht, so muss obige Frage ohne Widerspruch bejaht werden.

Die zweite Frage geht nach der Ursache der durch die Pflanzen gelieferten chemischen Differenz. Diese Differenz ist, wie oben erörtert wurde, eine physische Kraft; sie ist der bei der Verbrennung der Pflanzen gewonnenen Wärme gleich. Entsteht nun diese Kraft durch den Lebensprozess, ohne den Aufwand einer gegebenen Kraft? Die Erschaffung einer physischen Kraft, schon an und für sich selbst kaum denkbar, erscheint um so paradoxer, wenn man die Erfahrung berücksichtigt, dass die Pflanze einzig mit Hilfe des Sonnenlichtes ihre Leistung zu vollbringen im stande ist; durch die Annahme einer solchen hypothetischen Aktion der „Lebenskraft“ wird jede weitere Forschung abgeschnitten, und die Anwendung der Gesetze exakter Wissenschaften auf die Lehre von den Lebenserscheinungen unmöglich gemacht; ihre Bekenner werden, gegen den Geist des Fortschrittes, der sich in der Naturforschung jetziger Zeit kundgibt, in das Chaos ungezügelter Phantasiespiele zurückgeführt. Der Verfasser glaubt daher auf das Einverständnis seiner Leser rechnen zu dürfen, wenn er der folgenden Untersuchung als axiomatische Wahrheit den Satz unterlegt: dass während des Lebensprozesses nur eine *Umwandlung*, so wie der Materie, so der Kraft, niemals

aber eine *Erschaffung* der einen oder andern vor sich gehe.

Zugegeben nun, dass die Erzeugung der chemischen Differenz nicht ohne entsprechenden Aufwand einer andern Kraft stattfinden kann, so entsteht die weitere Frage: ob dieser Aufwand wirklich nur in der Konsumtion des Sonnenlichtes bestehe und nicht etwa aus einer andern Quelle fliesse?

Die Vermutung, dass die Pflanzen von ihrer Umgebung freie Wärme in sich aufnehmen und mit Hilfe derselben die chemische Differenz hervorbringen könnten, wäre allerdings eine naheliegende; allein die Erfahrung widerspricht dieser Konjektur, sofern sie lehrt, dass Wärme für sich allein niemals im stande ist, den Reduktionsprozess zu unterhalten; es bleibt also eine Aufnahme von Licht die *conditio sine qua non* des Reduktionsprozesses. Die Fähigkeit der Pflanzen, eine Umwandlung physischer Kraft vorzunehmen, scheint somit auf die Metamorphose des Lichtes (und der Elektrizität?) beschränkt.

Zur Zeit der Keimung, in der Dunkelheit und zum Teil auch während der Befruchtung nehmen die Vegetabilien Sauerstoff auf und geben ein beinahe gleich grosses Volumen Kohlensäure zurück. Die hier aufgewendete chemische Kraft muss die Erzeugung einer andern Kraft bewirken. Welches ist nun diese Kraft?

Es lassen sich hier zwei Fälle als möglich denken. Entweder: die chemische Differenz wird in freie Wärme verwandelt, wie solches bei der Befruchtung nachgewiesen ist; oder: die Pflanzen verwenden nach Art der galvanischen Säule eine gegebene chemische Differenz zur Hervorbringung anderweitiger chemischer Prozesse, die eine Kraftkonsumtion bedingen, sei es nun, dass diese Prozesse in Trennung oder in Verbindung von Materien bestehen. In dem letzteren Falle wird keine, oder nicht die der Oxydation des Kohlenstoffes entsprechende, Wärme in der Pflanze ausgeschieden.

Hat man die in jeder Nacht wiederkehrende Kohlensäurebildung der Pflanzen im Auge, so wird man es unwahr-

scheinlich finden, dass diese Organismen in Vollbringung ihrer wichtigen Aufgabe, Kraft anzuhäufen, durch die mathematisch-geographischen Verhältnisse ihres Standpunktes nicht nur nicht gefördert, sondern vielmehr geradezu gestört werden sollten. Die Pflanzen, indem sie einen Teil des im Lichte gewonnenen Kohlenstoffs in der Dunkelheit zur Wärmeausscheidung wieder verwendeten, würden bei Tage zwei Schritte vorwärts, bei Nacht einen Schritt rückwärts gehen. Zieht man in Betracht, dass vermöge des geringen Neigungswinkels der Erdachse zur Ebene der Ekliptik, und vermöge der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde die regelmässigste Verteilung von Tag und Nacht in die Zone der üppigsten Vegetation fällt, und dass die Sauerstoffaufnahme in der Dunkelheit für das Leben der Pflanzen notwendig erforderlich ist, so erscheint es wahrscheinlicher, dass die während der nächtlichen Oxydation des Kohlenstoffs gewonnene Kraft in der Pflanze ihre wichtige Verwendung finde, als dass diese Kraft in Form freier Wärme excerniert werden sollte. Fortgesetzte physiologisch-chemische Untersuchungen über das Nachtleben der Pflanzen, und genaue experimentale Bestimmungen über die Verbrennungswärme vegetabilischer Substanzen werden allein im stande sein, über den noch dunkeln Gegenstand das gehörige Licht zu verbreiten.

Die durch die Thätigkeit der Pflanzen angesammelte physische Kraft fällt einer andern Klasse von Geschöpfen anheim, die den Vorrat durch Raub sich zueignen und ihn zu individuellen Zwecken verwenden. Es sind dieses die *Tiere*.

Das lebende Tier nimmt fortwährend aus dem Pflanzenreiche stammende brennbare Stoffe in sich auf, um sie mit dem Sauerstoff der Atmosphäre wieder zu verbinden. Parallel diesem Aufwande läuft die das Tierleben charakterisierende Leistung: die Hervorbringung mechanischer Effekte, die Erzeugung von Bewegungen, die Hebung von Lasten. Diese

Leistung ist Mittel und Zweck im tierischen Organismus; sie ist Bedingung jedweden animalischen Lebensprozesses. Zwar auch die Pflanzen bringen mechanische Effekte hervor, sie bewegen und heben: offenbar ist aber, bei gleicher Zeit und gleicher Masse, die Summe der von einem Pflanzenindividuum geleisteten Effekte der tierischen Leistung gegenüber eine verschwindend kleine; während also in der Pflanze die Erzeugung mechanischer Effekte eine quantitativ und qualitativ sehr untergeordnete Rolle spielt, ist die Verwandlung chemischer Differenz in individuell nutzbaren mechanischen Effekt der unzertrennliche Begleiter, das charakteristische Merkmal des Tierlebens.

Die Grösse der mechanischen Leistung eines Tieres wird bequem ausgedrückt durch ein Gewicht, das mittelst dieser Leistung auf eine gewisse Höhe gebracht werden kann. Man rechnet, dass ein Pferd durch die Anstrengung seiner willkürlichen Muskeln acht Stunden lang des Tages in jeder Minute 27000 Pfund (à 500 Gramm) einen Pariser Fuss hoch oder 4400 Kilogramm ein Meter hoch zu heben im stande ist. Für die Stunde wird die Leistung = 1620000 Pfund, für den Tag = 12960000 Pfund auf 1 Fuss Höhe, oder 260000 Kilogramm beziehungsweise 2100000 Kilogramm auf 1 Meter Höhe. Jede andre momentane oder fortgesetzte Leistung eines Tieres werden wir als einen aliquoten Teil oder als ein Vielfaches der Leistung unsres Normalpferdes betrachten können, und was von dem einen gilt, muss auch, *mutatis mutandis,* auf das andre seine Anwendung finden.

In dem Tierorganismus wird fortwährend eine Summe von chemischen Kräften aufgewendet. Ternäre und quaternäre Verbindungen erleiden während des Lebens in ihrer Zusammensetzung die wichtigsten Veränderungen und werden grossenteils in Form binärer Verbindungen, als verbrannte Stoffe, nach kurzem Verweilen wieder ausgeschieden. Die Grösse dieser Kraft, beziehungsweise die Wärmemenge, welche durch diese Prozesse geliefert werden kann, ist auf experimentalem Wege keineswegs genügend eruiert; es kann

jedoch hier, wo es sich hauptsächlich um Feststellung eines Prinzips handelt, genügen, die Verbrennungswärme des reinen Kohlenstoffs den Rechnungen zu unterlegen, indem die so erhaltenen Zahlenwerte, wo in Zukunft die Experimentalphysik über die kraftliefernde Wirkung der in Betracht kommenden chemischen Vorgänge genauere Data liefert, durch die einfachste Reduktion korrigiert werden können.

Die Verbrennungswärme des Kohlenstoffes setzen wir, wie oben S. 57, nach *Dulong* = 8558°, die Lasterhebung, welche der Verbrennung von 1 Gewichtsteile Kohlenstoff entspricht (siehe ebendaselbst) = 3600000 Gewichtsteile auf 1 Meter Höhe.

Drückt man nun den Aufwand an chemischer Differenz, den ein Pferd zur Hervorbringung obiger Leistung machen muss, durch ein Gewicht von Kohlenstoff aus, so findet man, dass das Tier in einem Tage 580 Gramm, in einer Arbeitsstunde, den Tag zu 8 Stunden gerechnet, 72 Gramm, in 1 Minute 1,2 Gramm Kohlenstoff zu mechanischen Zwecken verbraucht.

Nach gangbaren Bestimmungen ist die Leistung eines starken Arbeiters 1/7 von der eines Pferdes. Ein Mann, der in einem Tage 300000 Kilogramm 1 m hoch hebt, muss hierzu 83 Gramm Kohlenstoff verwenden. Dieses beträgt für eine Arbeitsstunde 10 Gramm, für eine Minute 170 Milligramm Kohlenstoff. Ein Kegelspieler, der eine 4 Kilogramm schwere Kugel mit einer Geschwindigkeit von 10 Meter abwirft, verwendet zu dieser Arbeit von 20 Meterkilogramm, da der Verbrennungseffekt von 1 Milligramm Kohlenstoff = 3,6 Meterkilogramm ist, 6 Milligramm Kohlenstoff; ein Mann, der sein Körpergewicht von 72 Kilogramm 5 Meter hoch hebt, verbraucht dazu 0,1 Gramm Kohlenstoff; beim Besteigen eines 3000 Meter hohen Berges beträgt der Aufwand dieses Mannes, den bei jedem Tritte durch unelastischen Stoss verloren gehenden mechanischen Effekt ungerechnet, 60 Gramm Kohlenstoff.

Wenn der animalische Organismus den disponibeln

Brennstoff einzig zu mechanischen Zwecken verwenden würde, so müssten die berechneten Kohlenstoffmengen für die angegebenen Zeiten hinreichen. In Wirklichkeit kommt aber zu der Produktion mechanischer Effekte im Tierkörper noch eine beständige Wärmeerzeugung. Die chemische Kraft, welche in den eingeführten Nahrungsmitteln und in dem eingeatmeten Sauerstoffe enthalten ist, ist also die Quelle zweier Kraftäusserungen, der Bewegung und der Wärme, und die *Summe* der von einem Tiere produzierten physischen Kräfte ist gleich der Grösse des gleichzeitig erfolgenden chemischen Prozesses.

Sammelt man die in einer gewissen Zeit von einem Tiere gelieferten mechanischen Kraftäusserungen, verwandelt dieselben durch Reibung oder sonst auf eine Weise in Wärme, und addiert hierzu die in gleicher Zeit von dem Körper unmittelbar entwickelte Wärme, so wird man genau die Wärmemenge erhalten, welche dem stattgehabten chemischen Prozesse an und für sich entspricht. Auf der einen oder der andern Seite ein *Plus* oder *Minus* anzunehmen, verbietet das Gesetz des logischen Grundes. *Ex nihilo nil fit; nil fit ad nihilum.*

Die einzige Ursache der tierischen Wärme ist ein chemischer Prozess, in *specie* ein Oxydationsprozess.

Es ist ein grosses und anerkanntes Verdienst *Liebigs* die Wahrheit dieses aus den Entdeckungen *Lavoisiers* resultierenden Satzes gegen erhobene Zweifel und Bedenklich- 23
keiten siegreich verteidigt zu haben. Wo es sich um Konstatierung eines Wunders, der Erschaffung einer physischen Kraft, handelt, da können die berühmten Experimente von *Dulong* und *Despretz* nicht auf die geringste Beweiskraft Anspruch machen, und zwar, von den Fehlergrenzen solcher Versuche abgesehen, aus folgenden Gründen:

1. Da das Atmen dem chemischen Prozesse im Tiere parallel läuft, so muss angenommen werden, dass das warmblütige Tier bei ungehinderter Respiration in der Ruhe gerade soviel Wärme bildet, als zur Konstanterhaltung seiner Temperatur erforderlich ist. Geht nun ein Tier von dem

Zustande freier Respiration in den der gehinderten über, so muss die Wärmeerzeugung verringert werden, und das Tier wird während eines gewissen Zeitraumes mehr Wärme abgeben als erzeugen. In einem Zustande durch Angst beengter Respiration befanden sich nun die Tiere während der 1—2 Stunden dauernden Versuche *Dulongs* und *Despretz'*, folglich musste in dieser Zeit von den Tieren mehr Wärme ausgeschieden als gebildet werden; sie mussten also einen Teil ihrer Eigenwärme verlieren *(Liebig)*.

Gegen die Richtigkeit dieses Argumentes lässt sich kein gerechter Zweifel erheben. Jedermann kennt die objektiven Temperaturveränderungen der Körperoberfläche bei verschiedenen Gemütszuständen. Deprimierende Gemütsaffekte drücken den chemischen Prozess herab; die Haut erkaltet, denn es wird mehr Wärme abgegeben als erzeugt. Durch die höchst interessanten Versuche *Scharlings* (Annalen der Chemie von *Wöhler* und *Liebig*, Bd. XLV.) wird die Abhängigkeit der chemischen Prozesse im Tierkörper von vorübergehenden inneren Zuständen direkt bewiesen. Ein 10jähriges Mädchen atmete in dem *stadium prodromorum* einer leichten Uebelkeit viel weniger Kohlensäure aus, als vor und nach diesem Vorfalle, und zwar im Verhältnisse etwa wie 5 : 8.

Vorauszusetzen nun, dass die Tiere in *Dulongs* und *Despretz'* Versuchen ihr Atmungsgeschäft nicht durch Angst verändert fortgesetzt hätten, und auf ein kleines *Manko* sofort das grosse Resultat der Wunderwirkung der Lebenskraft zu fundieren, — dieses Verfahren verdient den Namen eines echt wissenschaftlichen nicht, und wenn *Kohlrausch* (Physiologie und Chemie in ihrer gegenwärtigen Stellung, Göttingen 1844) meint, die Menge des im Apparate vorgeschützten Wassers könne auf ein Missverhältnis zwischen Erzeugung und Abgabe tierischer Wärme korrigierend influieren, so zeigt er damit nur, dass er durch seine Polemik gegen das *Liebig*sche Argument sich auf einen Irrtum hat führen lassen.

2. *Dulong* und *Despretz* bestimmten bei ihren Versuchen den verzehrten atmosphärischen Sauerstoff und die Menge

der gebildeten Kohlensäure, und berechneten hiernach die zur Wasserbildung verbrauchte Sauerstoffmenge; sie gingen also von der Voraussetzung aus, dass der aktiv verbrennende Sauerstoff einzig von der Atmosphäre herrühre. Da nun aber der Stoffwechsel im Tiere nicht in einem Umsatze von Kohlenstoff und Wasserstoff in anorganischer Form, sondern in einer Zersetzung ternärer und quaternärer Sauerstoffverbindungen besteht, so liegt hierin eine mögliche Quelle von Fehlern. Organische Stoffe können ohne Sauerstoffaufnahme durch chemische Veränderungen Wärme entbinden; dies beweist der Prozess der geistigen Gärung. Hätte man zu dem Tiere unter den Apparat eine Flasche gärenden Weinmostes gestellt und dann nach *Dulong* und *Despretz* die entwickelte Wärmemenge mit dem verschwundenen atmosphärischen Sauerstoff verglichen, so wäre das Missverhältnis zwischen der berechneten und der gefundenen Wärme noch grösser ausgefallen.

3. *Dulong* und *Despretz* nahmen die Verbrennungswärme des Kohlen- und Wasserstoffs bei ihren Versuchen zu klein an. Spätere direkte Verbrennungsversuche von *Dulong* u. a. beweisen dieses. Auf diesen entscheidenden Umstand hat *Liebig* (Annalen der Chemie von *Wöhler* und *Liebig,* Bd. LIII.) aufmerksam gemacht und zugleich nachgewiesen, dass nach Vornahme der nötigen Korrektionen die Differenzen zwischen Experiment und Rechnung verschwinden!

Aus dem Angeführten geht zur Genüge hervor, dass die höchst wertvollen Versuche der genannten Naturforscher, weit entfernt, eine Widerlegung des Grundsatzes: *ex nihilo nil fit* zu enthalten, vielmehr die angefochtene Wahrheit auf dem Erfahrungswege bestätigen. Diese Versuche lehren, dass der Erzeugung tierischer Wärme ein chemischer Prozess, eine Verbrennung, parallel läuft, und dass die ausgeschiedene Wärme der berechneten Oxydation von Wasserstoff und Kohle nahe genau entspricht; sie lehren dagegen nicht, dass die gebildete Wärmemenge in Wirklichkeit grösser sei, als sie der chemische Prozess zu liefern vermag, und

am allerwenigsten lehren sie die Quote der durch den Lebensprozess erschaffenen Wärme kennen. Wäre diese Quote einmal festgestellt, wäre auch noch ein qualitativer Unterschied zwischen der durch Chemismus erzeugten gemeinen, und der durch den Lebensprozess erschaffenen vitalen Wärme nachgewiesen, dann, aber auch erst dann wäre es Zeit, zum Mysticismus umzukehren und an einer rein wissenschaftlichen Behandlung der Lebenserscheinungen zu verzweifeln*).

In dem thätigen Tiere ist der Stoffwechsel viel grösser als in dem ruhenden. Die Grösse des in einem gewissen Zeitraume vor sich gehenden chemischen Prozesses sei im ruhenden Individuum $= x$, in dem thätigen Individuum $= x + y$. Würde nun während der Arbeit dieselbe Menge freier Wärme ausgeschieden, als in der Ruhe, so müsste der Mehraufwand an chemischer Kraft $= y$ der Bildung mechanischer Effekte genau entsprechen. Durchschnittlich wird aber der thätige Organismus mehr freie Wärme bilden, als der ruhende, da schon die verstärkte Respiration einen vermehrten Wärmeverlust bedingt, der durch eine vermehrte Erzeugung gedeckt werden muss. Während der Arbeit wird also $x +$ einem Teil von y zu Wärme, der Rest aber zu mechanischen Effekten verwendet werden.

Es folgt hieraus klar, dass die Produktion mechanischer Effekte mit der der freien Wärme bis auf einen gewissen Grad im Antagonismus stehen muss. Je grösser nämlich der zur Wärmebildung verwendete Bruchteil von y ist, um so kleiner wird der den mechanischen Zwecken gewidmete Rest, und umgekehrt.

Die stündliche Erfahrung lehrt dieses. Es ist eine all-

---

*) Auf welch sonderbare Ideen die sogenannten Vitalisten noch heutzutage verfallen können, ist u. a. aus *Reichs* Lehrbuch der praktischen Heilkunde nach chemisch-rationellen (?) Grundsätzen, Berlin 1842 zu ersehen. *Reich* hält die tierische Wärme für ein Erbstück, das dem Neugeborenen mit auf den Weg gegeben wird! Für diesen heitern Gedanken wünschen wir besagtem Herrn einen Stubenofen, der die vom Vater Hochofen überkommene Wärme spende für und für.

bekannte Regel, dass man, um weit zu kommen, langsamen Schrittes anfangen müsse. Das Sprichwort sagt: „Eile mit Weile.“ Der Arbeiter sucht der Transpiration auszuweichen, um seine Kraft zu sparen, und der Fuhrmann liebt es nicht, wenn seine Pferde „warm“ werden. Im gemeinen Leben sagt man: der Schweiss verzehrt die Kraft; in der wissenschaftlichen Sprache heisst dieses: die vermehrte Erzeugung von Wärme geht auf Kosten der Bildung mechanischer Effekte. Bei gleichem Verbrauche wird das phlegmatische Temperament, sei es ein menschliches oder ein tierisches, den grössten Nutzeffekt zu liefern im stande sein.

Auf den zwischen der Produktion von Wärme und mechanischem Effekt bestehenden Antagonismus werden wir weiter unten zurückkommen. Es muss nun nachgewiesen werden, dass der von dem arbeitenden Individuum gemachte Mehraufwand an Kombustibilien erfahrungsgemäss die zur Hervorbringung der Bewegungen nötige Kraft wirklich enthält.

Ein starkes Pferd, das Tag für Tag der Ruhe pflegen darf, wird mit 7½ Kilogramm Heu und 2½ Kilogramm Hafer reichlich genährt; hat aber jetzt das Tier, wie oben angenommen wurde, täglich 2100000 Kilogramm 1 Meter hoch zu heben, so kann es, bei dieser Nahrung offenbar nicht bestehen. Wir legen ihm, um es in gutem Stande zu erhalten, 5½ Kilogramm Hafer (= ½ Simri württ.) zu. Nun enthalten obige, der vorhin erwähnten Grösse x proportionale, 10 Kilogramm Nahrungsmittel nach *Boussingault* (*Annales de Chimie et de physique, LXX; Liebig,* Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie) 4037 Kilogramm Kohlenstoff. Die 5½ Kilogramm Hafer, welche der Grösse y entsprechen, enthalten nach ebendemselben 2367 Kilogramm. Nach *Boussingault* verhält sich ferner die eingeführte zu der in brennbarer Form excernierten Kohlenstoffmenge ungefähr wie 3938 : 1364,4; hiernach berechnet, ist also x, d. h. die von dem ruhenden Tiere verbrannte Kohlenstoffmenge, = 2,6383 Kilogramm, y aber = 1,547 Kilogramm. Der zu mechanischen Effekten

verbrauchte Kohlenstoff aber beträgt nach dem obigen 0,58 Kilogramm, welche Grösse wir = z setzen wollen.

Jetzt ergeben sich folgende Verhältnisse: 1. die mechanische Leistung zum Gesamtverbrauche = $z : (x + y)$ = 0,14; 2. die mechanische Leistung zu dem Mehrverbrauche des arbeitenden Tiers = $z : y$ = 0,37; 3. die Wärmebildung in der Ruhe zu der in der Arbeit = $x : (x + y - z)$ = 0,73.

Nach *Liebig* (Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie) erhalten die Gefangenen im Arresthause in Giessen, denen jede Bewegung mangelt, täglich 17 Lot (= 266 Gramm) Kohlenstoff. Das Verhältnis des eingeführten zum unverbrannt excernierten Kohlenstoffe kann nach *Liebig* (a. a. O. 1. Auflage S. 292) etwa = 290 : 12 angenommen werden. Die von einem Gefangenen oxydierte Kohlenstoffmenge ist hiernach = 255 Gramm. Ein kasernierter Soldat geniesst täglich (siehe ebendaselbst) 29 Lot (= 453 Gramm) Kohlenstoff. Gönnen wir aber unsrem Arbeiter zur Vollbringung seiner schweren Leistung noch weitere 7 Lot (= 110 Gramm), so wird er täglich 36 Lot (= 563 Gramm) einführen, oder nach dem angeführten Verhältnisse 540 Gramm Kohlenstoff verbrennen*). Davon verwendet er zu mechanischem Effekte 82 Gramm. Es verhält sich also: 1. der mechanische Effekt zum Gesamtverbrauche = 82 : 540 = 0,15; 2. die mechanische Leistung zu dem Mehrverbrauche 82 : 285 = 0,3; 3. die Wärmeentwickelung in der Ruhe zu der in der Arbeit = 255 : (540 — 82) = 0,56.

Bei diesen Rechnungen ist nur der umgesetzte Kohlenstoff in Betracht gezogen worden. Will man die Verbrennungswärme der eingeführten Nahrungsmittel gleich dem in ihnen enthaltenen Kohlenstoff + Wasserstoff setzen, so kann man die hinzuzuaddierende Verbrennungswärme des Wasserstoffes nahe = 1/4 von der des Kohlenstoffs annehmen.

---

*) Die von *Lavoisier*, *Andral* u. v. a. gefundenen Zahlen sind bedeutend kleiner. Die Respirationsexperimente müssen offenbar Minimalwerte geben, da sie nur an *ruhenden* Individuen angestellt werden können.

Es versteht sich aber von selbst, dass die hier gegebenen Grössenbestimmungen auf eine allgemeine Gültigkeit keinen Anspruch machen wollen. Nach der verschiedenen individuellen Konstitution und nach den verschiedenen Lebensverhältnissen muss die Leistung und der Verbrauch grossen Schwankungen unterliegen. Immerhin werden aber diese Angaben dazu dienen können, folgendes als erfahrungsgemäss zu begründen.

1. Der Mehraufwand, den der arbeitende Organismus an Kombustibilien macht, reicht, auch wenn man das *Plus* der erzeugten Wärme im Auge behält, vollkommen aus, um die Produktion der mechanischen Effekte auf natürlichem Wege zu erklären.

2. Der von dem angestrengt thätigen Säugetiere zu mechanischen Zwecken verwendete Kohlenstoff wird als Maximum kaum $^1/_5$ vom Totalaufwande betragen. Die übrigen $^4/_5$ werden zur Wärmebildung verbraucht.

Um die Verwandlung von chemischer Kraft in mechanischen Effekt bewerkstelligen zu können, dazu sind die Tiere mit spezifischen Organen ausgerüstet, deren die Pflanzen gänzlich ermangeln. Es sind dieses die Muskeln.

Zur Thätigkeitsäusserung eines Muskels gehört zweierlei: 1. der Einfluss eines motorischen Nerven als Bedingung, und 2. der Stoffwechsel als Ursache der Leistung.

Wie der ganze Organismus, so hat auch das Organ, der Muskel, seine psychische und seine physische Seite; zu jener zählen wir den Nerveneinfluss, zu dieser den chemischen Prozess.

Dem Willen des Steuermanns und des Maschinisten gehorchen die Bewegungen des Dampfbootes. Der geistige Einfluss aber, ohne welchen das Schiff sich nicht in Gang setzen, oder am nächsten Riffe zerschellen würde, er lenkt, aber er bewegt nicht; zur Fortbewegung bedarf es einer physischen Kraft, der Steinkohlen, und ohne diese bleibt das Schiff, auch beim stärksten Willen seiner Lenker, tot.

Im ersten Teile dieser Schrift wurde die Rolle, welche der Verbrennungsprozess in anorganischen Bewegungsapparaten, den Dampfmaschinen spielt, ihren Hauptpunkten nach erörtert. Unsre jetzige Aufgabe ist es, die hier einschlagenden Lebenserscheinungen im Zusammenhange mit ihrer physikalischen Ursache zu betrachten, und das auf dem Boden exakter Wissenschaft Gewonnene zur Begründung physiologischer Lehrsätze anzuwenden.

Der Muskel ist nur das Werkzeug, mittelst dessen die Umwandlung der Kraft erzielt wird, aber er ist nicht der zur Hervorbringung der Leistung umgesetzte
24 Stoff.

Nach dem obigen (S. 80, 86) verarbeitet ein angestrengt thätiger Mann in einem Tage 82 Gramm Kohlenstoff zu mechanischen Effekten. Das Gewicht der gesamten Muskulatur eines 75 Kilogramm schweren Arbeiters = 32 Kilogramm gesetzt, bleiben, nach Abzug von 77 Prozent Wassergehalt, ca. 7 1/2 Kilogramm trockene kombustible Muskelsubstanz. Angenommen nun (obschon nicht zugegeben), die wärmegebende Kraft dieser Materie komme (bei 40 Prozent Sauerstoff und Stickstoff) der des reinen Kohlenstoffes gleich, so müsste die ganze Muskulatur des Mannes, wenn sie den Stoff zur Krafterzeugung liefern sollte, in längstens 13 Wochen oxydiert werden.

Noch augenfälliger wird diese arithmetische Deduktion, wenn man die Leistung eines einzelnen Muskels, die des Herzens nämlich, in Betracht zieht. Wir setzen mit *Valentin* (Lehrbuch der Physiologie des Menschen, Bd. 1 S. 488) die von dem linken Ventrikel bei jeder Systole beförderte Blutmenge im Mittel = 150 Kubikcentimeter, den hydrostatischen Druck des Blutes in den Arterien nach *Poiseuille* = dem Drucke einer 15 Centimeter hohen Quecksilbersäule. Der mechanische Effekt, den der linke Ventrikel bei einer Systole liefert, lässt sich hieraus berechnen; er ist gleich

der Hebung einer Quecksilbersäule von einem Quadratcentimeter Grundfläche und 16 Centimeter Höhe auf 150 Centimeter. Das Gewicht des Quecksilbers beträgt 217 Gramm. Der Effekt einer Systole, reduziert, ist somit

$$= \left\{ \begin{array}{rrrrr} 325{,}6 & \text{Gramm} & \text{auf} & 1 & \text{Meter} \\ 2 & \text{Pfund} & \text{„} & 1 & \text{Fuss} \end{array} \right\},$$

welches äquivalent ist mit 0,766 ° Wärme, oder äquivalent der Verbrennung von 0,09 Milligramm Kohlenstoff. Rechnet man nun für eine Minute 70, für einen Tag 100 800 Pulsschläge, so ist der mechanische Effekt des linken Ventrikels in einem Tage = 32 810 Meterkilogramm = 77 200 ° Wärme

$$= \text{der Verbrennung von} \left\{ \begin{array}{r} 9{,}02 \text{ Gramm} \\ 145{,}3 \text{ Gran} \end{array} \right\} \text{Kohlenstoff.}$$

Nach *Valentin* ist die Leistung des rechten Ventrikels die Hälfte von der des linken. Der von beiden Kammern gelieferte mechanische Effekt ist hiernach in einem Tage = 49 200 Meterkilogramm = 115 800 ° Wärme

$$= \text{der Verbrennung von} \left\{ \begin{array}{r} 13{,}5 \text{ Gramm} \\ 218 \text{ Gran} \end{array} \right\} \text{Kohlenstoff.}$$

Das Gewicht des ganzen Herzens zu 500 Gramm angenommen, und hiervon 77 Prozent Wasser abgezogen, bleiben 115 Gramm trockene brennende Materie. Setzt man diese Materie, wie oben, dem reinen Kohlenstoff äquivalent, so folgt, dass das ganze Organ, wenn es den Stoff zu seiner Leistung selbst abgeben sollte, in längstens 9 Tagen oxydiert sein müsste. Setzt man aber das Gewicht beider Ventrikel allein, nach den Wägungen *Valentins* (a. a. O. S. 433) = 202 Gramm, so müsste unter der nämlichen Bedingung, die totale Umsetzung dieser Muskelgebilde binnen 4 Tagen vollbracht sein!

Es steht aber die Annahme einer raschen Umsetzung (Verbrennung und Neubildung) der normal thätigen Muskelfaser mit physiologischen Thatsachen und mikroskopischen Forschungen in offenbarem Widerspruche, und es beweisen also die gefundenen Zahlenwerte von 4 Tagen bis 13 Wochen zur Evidenz, dass ein erheblicher Teil des zu der

Leistung verbrauchten Brennstoffes von der Muskelfaser
26 selbst nicht herrühren kann.

Die tierischen Gewebe haben, ihren entfernten Bestandteilen, dem Kohlenstoff, dem Wasserstoff, dem Stickstoff ähnlich, bei der gewöhnlichen Temperatur nur eine geringe Neigung sich mit dem Sauerstoff direkt zu verbinden; getrocknete Membranen erhalten sich in der atmosphärischen Luft und im Sauerstoff viele Jahre lang unverändert. Eine solche Neigung aber auch vorausgesetzt, so ist dem Sauerstoffe der Zutritt zu den Geweben, insbesondere zu der Muskelfaser, um die es sich hier vorzüglich handelt, verwehrt; der Sauerstoff gelangt gebunden an das arterielle Blut in die Tiefe des Organismus; hat er Neigung, mit organischen Stoffen binäre Verbindungen einzugehen, so wird er ohne Zweifel die ihm zunächst liegenden Teile, wie er sie im Blute selbst reichlich und in aufgelöstem Zustande vorfindet, wählen. Warum der gebundene Sauerstoff von dem Arterienblute sich losreissen und die Gefässwandungen exosmotisch durchdringen sollte, um die Muskelfaser aufzusuchen, davon lässt sich ein Grund wahrhaftig nicht einsehen.

Mit scheinbar grösserem Rechte liesse sich in einer besonderen „Lebenskraft“ ein Schutz erblicken gegen eine andre chemische Aktion, gegen die Selbstentmischung nämlich, der die organischen Teile nach dem Tode entgegengehen. Die Selbstentmischung organischer Verbindungen, die Gärung, die Fäulniss, die Verwesung, wie sie bei gewissen Temperaturgraden, unter der Anwesenheit von Wasser und zum Teil mit, zum Teil ohne Aufnahme von atmosphärischem Sauerstoff erfolgt, ist ein Prozess, der bis zu einem gewissen Punkte mit zunehmender Beschleunigung vor sich geht. Es kann in dieser Hinsicht die Selbstentmischung passend mit dem Herabfallen einer Last gegen die Erde aus kosmischer Höhe verglichen werden; diese Last nähert sich mit zunehmender Beschleunigung der Erde; der schwächste Faden würde in einer gewissen Höhe hingereicht haben, das Herabfallen einer grossen Masse

zu verhindern, während im späteren Verlaufe des Fallens von dem stürzenden Gewichte das stärkste Hinderniss überwunden wird.

Wenn wir ein gesundes Tier töten, und wenige Tage nachher den Kadaver in rascher Selbstentmischung finden, so können wir uns allerdings veranlasst sehen, naturphilosophische Reflexionen über die Energie der Lebenskraft, die im stande war, den mächtigen Prozess der Fäulniss zu verhindern, anzustellen; in Wahrheit laufen wir aber bei solchen Meditationen Gefahr, einen Spinnenfaden für ein Kabeltau anzusehen. Ein andres ist es, der Entstehung einer Feuersbrunst zuvorzukommen, ein andres, dem entfesselten Elemente Schranken zu setzen. In den ersten Minuten oder Stunden nach dem Tode ist die Neigung zur Selbstentmischung (und dieser Neigung entspricht in dem mechanischen Prozesse des Fallens die Anziehung) eine sehr geringe; sie wächst durch ihre eigene Wirkung, durch die Anwesenheit der putrefizierten Stoffe; in dem lebenden Organismus ist diese Neigung nach mathematischen Gesetzen kleiner noch, als in der Minute nach dem Tode, im Leben ist die Neigung zur Fäulniss ein verschwindend Kleines, die Kraft, welche wir dieser Neigung entgegenzusetzen haben, ist deren Grösse proportional, sie ist verschwindend klein, sie ist Null.

Ein Fass voll frisch ausgepressten Traubensaftes wird bei mässiger Wärme und bei Anwesenheit von etwas Sauerstoff binnen kurzer Zeit in volle Gärung geraten; angenommen aber, es liesse sich die Einrichtung treffen, dass die Gärungsprodukte im Momente ihrer Bildung stets wieder entfernt würden, (wie dieses durch ein fortwährendes Filtrieren der ganzen Masse teilweise geschehen könnte) so wäre, mittelst eines geringen täglichen Zusatzes von frischem Traubensafte, das Fass beständig voll von süsser, gärungsfähiger Masse zu erhalten. Eine allgemeine Gärung würde, solange die Ab- und Zufuhr regelmässig fortdauert, nimmermehr zu stande kommen.

Der ausgezeichnete Techniker, Herr *E. Schäuffelen* in

Heilbronn, hat im Kamine der Dampfschiffe einen Aspirator angebracht, — ein Rad, das von der Maschine selbst getrieben, einen starken Luftstrom durch die brennenden Steinkohlen hindurchzieht, — und erzielt damit, dass das Brennmaterial, ohne Russ und schwarzen Rauch zu geben, in Form binärer Sauerstoffverbindungen austritt. Es beruht dieser Apparat auf einer glücklichen Nachahmung des Lebensprozesses; ein kleiner Teil des auf Kosten der Verbrennungswärme erzeugten mechanischen Effektes wird verwendet, um den Zutritt der Lebensluft mechanisch zu befördern und die Bildung zweckwidriger Produkte dadurch zu verhüten.

Zahlreiche Apparate sind nun im lebenden Tiere unausgesetzt beschäftigt, zu filtrieren, zu aspirieren, die chemischen Prozesse, zum Teil unter Aufwand von mechanischer Kraft, zu regeln, die Intensität dieser Prozesse zu erhöhen, ihre Extensität zu vermindern, die Zersetzungsprodukte in abgesonderten Räumlichkeiten niederzulegen und sie sofort zu entfernen, vor allem aber der Bildung und Ansammlung putrider Fermente vorzubeugen. Bringt man aber in die Säftemasse des lebenskräftigsten Mannes ein Gran faulender Jauche, so vermag weder Natur noch Kunst der rasch folgenden Entmischung, dem schnell tötlichen Faulfieber, Schranken zu setzen. Wo bleibt hier die Lebenskraft? wo das Vermögen; „Widerstand zu leisten gegen äussere Ursachen von Störungen?“ *Hic Rho-*
27 *dus, hic salta!*

Es ist eine altbekannte Thatsache, dass Flüssigkeiten, welche an und für sich zur Selbstentmischung wohl geneigt sind, im Innern des lebenden Körpers lange Zeit unzersetzt verweilen können; es fragt sich also: ist die Widerstandsfähigkeit flüssiger organischer Materien gegen Zersetzung, vom chemischen Standpunkte aus betrachtet, durchgehends viel grösser, als die der festen Teile?

Indem man von der Lebenskraft überhaupt Umgang nimmt, wird man sich die fraglichen Verhältnisse leicht und einfach erklären können.

Wenn stagnierende Flüssigkeiten*) in Berührung mit lebendigen Gebilden sich lange Zeit unverändert erhalten, während sie ohne solche Berührung unter sonst gleichen Umständen sich entmischen würden, so müssen wir daraus schliessen, dass die festen Teile durch Sekretion und Resorption einen Einfluss ausüben, durch welchen diese Flüssigkeiten nach rein chemischen Gesetzen in ihrer Mischung erhalten werden. Man erinnere sich hier an das, was kurz zuvor von einem Süssbleiben des gärungsfähigen Weinmostes beispielsweise erwähnt wurde. Diese notwendige Annahme einer resorbierenden und secernierenden Thätigkeit der eine solche Flüssigkeit umgebenden Fläche steht mit bekannten anatomischen, physiologischen und pathologischen Verhältnissen im Einklange.

Die flüssigen Materien besitzen, ihrer verschiedenen chemischen Beschaffenheit nach, eine sehr verschieden grosse Neigung zur Selbstentmischung; die Milch, der Wein, ein fettes Oel, der absolute Alkohol verhalten sich in dieser Beziehung höchst ungleich. Je reicher an organischen Bestandteilen die im Körper eingeschlossene Flüssigkeit ist, um so grösser wird im allgemeinen auch ihre Zersetzungsneigung sein. Die Wechselwirkung zwischen den umschliessenden Festteilen und der eingeschlossenen Flüssigkeit, oder die absorbierende und secernierende Thätigkeit der Höhlenwandung muss nun um so grösser sein, je grösser die Zersetzbarkeit der eingeschlossenen Materie ist. Da nun diese Thätigkeit wiederum mit dem Gefässreichtum der betreffenden Teile im Verhältnis steht, so muss folglich die Zersetzbarkeit des Exsudates in Proportion stehen mit der Vaskulosität der umkleidenden Membran.

Die Zersetzbarkeit und Vaskulosität ist im Minimum vorhanden bei den normalen Flüssigkeiten des Auges, dem *humor aqueus et vitreus*, und den entsprechenden Umhüllungen. Gering sind ferner beide in vielen hydropischen Aus-

---

*) Von den zirkulierenden Säften, dem Blute und der Lymphe, wird weiter unten die Rede sein.

schwitzungen, Sackwassersuchten, bei der Hydrocele. Wenn nach wiederholter Paracentese der Bauch- oder Brusthöhle das Exsudat reicher wird an organischen Stoffen, so verdickt sich auch gleichzeitig die seröse Haut und wird blutreicher. Die Galle und die leicht zersetzbare Milch sind von gefässreichen Schleimhäuten umgeben, sie können sich bei fehlender Exkretion lange unzersetzt erhalten. In ihrem anatomischen und physiologischen Verhalten sind den Schleimhäuten die Abscesswandungen ähnlich. Nach Oeffnung des Abscesses erhält der atmosphärische Sauerstoff Zutritt zu der angesammelten eitrigen Flüssigkeit, wodurch die Tendenz zur Entmischung ohne Zweifel gesteigert wird; zur Verhütung der fauligen Zersetzung muss der Blutreichtum der Abscesswandungen und die Wechselwirkung zwischen festen und flüssigen Teilen gesteigert werden. Man erinnere sich an die Operation des Empiems, an die Eröffnung grosser lymphatischer Abscesse, an die des Psoasabscesses.

Hat der örtliche pathologische Prozess eine gewisse Zeitlang gedauert, hat er eine gewisse Ausdehnung erhalten, so teilt er, wie die Erfahrung lehrt, der ganzen Säftemasse eine Zersetzungstendenz mit; die normwidrige Veränderung, welche ein Teil des Blutes in den Abscesswandungen fortwährend zu erleiden hat, um die faulige Zersetzung des Eiters zu verhindern, wird, nach erlangter allgemeiner Ausbreitung, zum Konsumtionsfieber.

Kommt der Eiter auf seiner Wanderung oder Ausbreitung mit einer Knochenfläche in Berührung, so wird er an dieser Stelle seiner schützenden, schleimhautähnlichen Umhüllung beraubt und erhält so eine Gelegenheit, zu verjauchen. Der Knochen wird entweder in den Zersetzungsprozess hineingezogen, oder er überzieht sich im günstigeren Falle mit einer gefässreichen Haut, er granuliert, und der Eiter erhält eine bessere Beschaffenheit.

Blutextravasate, welche nicht binnen kurzer Zeit resorbiert werden, können nur durch gefässreiche einschliessende Wandungen und durch eine gesteigerte secernierende und resorbierende Thätigkeit derselben, unter Entzündung und

Eiterung einer fauligen Zersetzung entgehen; diese Zersetzung erfolgt aber unfehlbar in den Tamponen der Nasen- und Genitalienhöhlen und in der zurückgebliebenen Placenta.

Das Gesetz des zwischen der Zersetzungsneigung einerseits und einem notwendigen chemischen Prozesse andrerseits bestehenden Grössenverhältnisses muss nicht nur bei stagnierenden, pathologisch angesammelten Exsudaten gelten, es muss auch auf die Flüssigkeiten*) überhaupt und deren Umwandlung, auf den ganzen Organismus und den Stoffwechsel seine Anwendung finden. Die Kohlensäurebildung im lebenden Organismus, als ein Ausdruck des Stoffwechsels, kann nicht unter einen gewissen Punkt herabsinken, ohne dass der Tierkörper seiner Auflösung entgegengeführt wird. Dieses physiologische Minimum des chemischen Prozesses muss für verschiedene Temperaturgrade verschiedene Werte haben; die Zersetzungsneigung tierischer Stoffe ist, wie bei der geistigen und sauren Gärung, in der Wärme grösser, in der Kälte geringer. Tiere, welche in der Ruhe nur so viel Kohlensäure bilden, als zur Erhaltung ihrer Säftemischung notwendig ist, d. h. Tiere, welche sich mit dem Minimum des chemischen Prozesses begnügen, müssen in der Wärme eine grössere Menge von Kohlensäure bilden, als in der Kälte. Es erklärt sich dadurch, dass bei den kaltblütigen Tieren und Säugetieren während des Winterschlafes, nach den Beobachtungen von *Treviranus* u. a., die Kohlensäureproduktion mit der Temperatur zugleich zunimmt, während dieses bei Tieren von konstanter Eigenwärme sich umgekehrt verhält.

Da wir in einem chemischen Prozesse, in dem Stoff- 28
wechsel, einen vollwichtigen Grund von dem Fortbestande lebender Organismen erblicken, so müssen wir gegen die Aufstellung einer besonderen Lebenskraft, um solche Erscheinungen zu erklären, Protest erheben.

---

*) Die festen Teile des Organismus haben unter normalen Verhältnissen und dem Ausschluss von freiem Sauerstoff eine ohne Zweifel sehr geringe Zersetzungsneigung.

Gewiss ist noch für lange Zeit keine Aussicht vorhanden, dass es gelingen werde, die richtige Erklärung der krankhaften Zustände aufzufinden, und *Liebigs* Theorie der
28 Krankheit, obschon durch sie in manchen Aerzten sanguinische Hoffnungen rege gemacht wurden, hat uns dem Ziele um keinen Schritt näher gebracht, wie auch die Untersuchungen eines *Lotze, Wunderlich* u. a. in dieser Beziehung der Wissenschaft nur negative Resultate gewähren konnten. Leichter wird man eine Quinterne treffen, als eine Reihe verwickelter Naturprozesse durch Suppositionen erraten*).

Unter Aufnahme von atmosphärischem Sauerstoffe und unter Bildung und Ausscheidung binärer Verbindungen geht in dem tierischen Organismus beständig ein chemischer Prozess vor sich, als dessen Wirkung wir die Erzeugung von Wärme und mechanischem Effekt kennen gelernt haben.

Um sich zuerst über den Ort der Verbrennung zu vergewissern, könnte eine thermometrische Messung der Organe und der verschiedenen Blutarten als das einfachste Mittel erscheinen. Den Lungen wird durch die Zufuhr kalter Luft und durch Wasserverdampfung beständig Wärme entzogen; da nun die Lungen keine niedrigere Temperatur zeigen, als die übrigen Centralorgane, noch viel weniger aber das geatmete Blut kälter gefunden wird, als das Körpervenenblut, so könnte schon hieraus auf eine Wärmeentwickelung in den Lungen geschlossen werden. Nach *Holtzmann* erfordert 1 Gramm Wasser bei 37,5° zu seiner Verdampfung 564° Wärme. Die Wasserverdampfung in den Lungen in 24 Stunden zu 500 Gramm gerechnet, gibt 282000° Kälte. Nimmt man ferner an, dass in den Lungen in jeder Minute 12000 Kubikcentimeter Luft um 20° C. erwärmt werden, so beträgt dieses

---

*) Diese zunächst der Pathologie geltende Bemerkung mag *mutatis mutandis* nicht minder auf die Therapie eine Anwendung finden. Glücklich — wenn auch der Arzt mit unbekannten Funktionen rechnet — dass Schicksal und Natur ein Facit ziehen!

für den Tag, die Wärmekapazität der Luft = 0,267, das specifische Gewicht = 0,0013 gesetzt: 120 000°, Summa 402000° Kälte. Die bei jeder Systole beförderte Blutmenge klein = 100 Kubikcentimeter gesetzt, so gehen bei 70 Pulsschlägen 10 080 000 Kubikcentimeter Blut in einem Tage durch die Lungen. Die Wärmekapazität und das specifische Gewicht des Blutes dem des Wassers gleichgesetzt, finden wir, dass dass Blut der *arteria pulmonalis* bei einer äusseren Temperatur von 17,5° durchschnittlich $^1/_{25}$° wärmer, als das der Lungenvenen sein müsste, wenn in den Lungen keine Wärme erzeugt würde. Rechnet man noch, dass der von dem rechten Ventrikel gelieferte mechanische Effekt in den Lungen in Wärme sich verwandelt, so findet man diese Reibungswärme des Lungenblutes (vergl. o. S. 89) = 38600°; diese von obigen 402 000° Kälte abgezogen, wird die Wärmedifferenz beider Blutarten = $^1/_{28}$°. Setzt man aber wie oben S. 88 die Herzkapazität = 150, so beträgt diese Differenz nicht mehr als $^1/_{42}$°.

Verlegt man auf der andern Seite die Wärmebildung ausschliesslich in die Lungen, und nimmt man den wärmeliefernden chemischen Prozess möglichst gross = der täglichen Verbrennung von 500 Gramm Kohlenstoff = 4 279 000° Wärme an, so könnten in den Lungen, nach Abzug von 402 000° Kälte, 3 877 000° thermometrisch wahrnehmbare Wärme erzeugt werden. Wird die Herzkapazität wiederum klein = 100 gesetzt, so folgt, dass das Blut der Lungenvenen um $^2/_5$° wärmer, als das der *arteria pulmonalis* sein müsste; die Herzkapazität = 150 gesetzt, würde der Temperaturunterschied $^1/_4$° betragen, und um ebensoviel müsste auch die Wärme der Lungen die der anderen inneren Organe übertreffen.

Die über den Wärmeunterschied beider Blutarten angestellten Untersuchungen haben bekanntlich zu keinen übereinstimmenden Resultaten geführt. Zieht man in Betracht, dass die Cirkulations- und Oxydationsverhältnisse eines der Vivisektion unterworfenen Tieres ohne Zweifel von der Norm abweichen werden (vergl. o. S. 82), und dass

BIBLIOTHECA REGIA

die gegen Wärmeverlust geschützten sehr blutreichen Haupthöhlen des Körpers (und dadurch auch die von ihnen ausgehenden Blutströmungen) konstant eine höhere Temperatur zeigen müssen als die Aussenwerke des Organismus und das von diesen zurückkehrende Blut, so wird man leicht einsehen, dass die an dem Blute einzelner Arterien- und Venenstämme beobachteten Temperaturdifferenzen*) (welche das soeben berechnete mögliche Maximum von $^1/_4$ bis $^2/_5$ ^{0} C. in vielen Fällen sogar bedeutend übersteigen), zu einem Schlusse auf den Ort der Wärme e r z e u g u n g keineswegs berechtigen.

Der chemische Prozess und die Kraftentwickelung geht, wie wir sehen werden, sowohl in den Lungen als in den übrigen Körperteilen vor sich. Das Blut nimmt in den Lungen Sauerstoff auf und führt ihn allen Körperteilen zu. Unter Verwendung dieses Sauerstoffes erfolgt der chemische Prozess. Nach aufgehobener Respiration hört der Farbenwechsel des Blutes, die Wärmeproduktion und die Muskelbewegung auf. Mit welchen Massenteilen kombiniert sich nun der atmosphärische Sauerstoff des arteriellen Blutes? Welche Materien dienen dem Organismus als Brennstoff? Geht der in Rede stehende chemische Prozess innerhalb der Blutgefässhöhle vor sich, oder erstreckt er sich über die Gefässwandungen hinaus, auf die festen Gewebsteile?

Von dem Blute, das der linke Herzventrikel hinaussendet, gelangt ein grosser Teil zum rechten Herzvorhofe zurück, ohne auf seiner Wanderung durch den Körper die Gefässhöhle verlassen zu haben; vermöge der Herzaktion aber übt das Blut einen beständigen Druck gegen die Gefässwandungen aus, und dadurch wird ein Teil des Blutes (und zwar der dünnflüssigste) aus der Röhrenleitung hinausgetrieben. In den netzförmig anastomisierenden Kapillar-

---

*) *Mayer* (*Meckels* Archiv 3. 337) fand das Blut der Carotis um 1—2 ^{0} R. wärmer, als das Blut der Junglarvenen; dagegen konnte er zwischen den Blutarten beider Herzhälften keinen Temperaturunterschied wahrnehmen.

gefässen muss der hydrostatische Druck des Blutes gegen die Gefässwandungen nahezu gleichförmig sein, und dieser Druck wird auch den ausgepressten Teil des Blutes am Wiedereintritt in die Gefässhöhle verhindern, während endosmotische und exosmotische Tendenzen (soweit nicht excerniert wird), sich das Gleichgewicht halten. Nun sind aber andre Röhren vorhanden, in denen der von dem Herzventrikel ausgehende Druck fehlt, und diese sind bereit, die ausgetretene Flüssigkeit, die Lymphe*), in sich aufzunehmen. Diese Röhrenleitung heisst das lymphatische Gefässsystem.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass das Wachstum und die Wiedererzeugung der Gewebsteile nur durch die aus der Gefässhöhle tretende proteïn- und salzhaltige Flüssigkeit vermittelt werden kann. Die Frage ist aber hier die: spielt diese Flüssigkeit bei dem in Rede stehenden Oxydationsprozesse eine gewichtige Rolle oder nicht? Um dieses zu entscheiden, müssen wir die Quantität der von dem Blute sich abscheidenden Lymphe ins Auge fassen. *Magendie* er-

---

*) Den Beweis des Zusammenhanges von Blutflüssigkeit und Lymphe hat *Müller* geliefert. (Handbuch der Physiologie, 1. Aufl., S. 245). Die aus dem Blutgefässsystem tretende Lymphe wird bei vorhandenem Tonus der festen Organteile durch den *impetus a tergo*, durch den vom Herzen ausgehenden Druck, in die verhältnismässig weiten Anfänge der lymphatischen Gefässe hinein — und in denselben weiter fortgeführt. Abwechselnder Druck durch Muskelkontraktion befördert die Strömung der Lymphe wie des Venenblutes. Im weiteren Verlaufe gesellt sich als mächtiges Agens die Pektoralaspiration hinzu, und zugleich wächst, bei der angebrachten Klappeneinrichtung, der hydrostatische Druck der Lymphe gegen ihre Gefässwandung im Hauptstamme durch die Verengerung des *Lumens*, die der *ductus thoracicus* im Verhältnis zu seinen Verzweigungen zeigt, und so erfolgt, begünstigt noch durch die Herzaspiration in der Nähe des rechten Vorhofes, der Wiedereintritt der Lymphe in das Blutgefässsystem ohne Schwierigkeit. Klar ist aber, dass jedes Hindernis in Respiration und Cirkulation durch Schwächung der Pektoralaspiration, oder durch Vermehrung des hydrostatischen Blutdruckes in der *venia subclavia sinistra*, der Lymphbewegung hemmend entgegentreten und dadurch zu ödematösen Anschwellungen etc. disponieren muss.

hielt bei einer Vivisektion aus dem durchschnittenen *ductus thoracicus* eines eben gefütterten Hundes mittlerer Grösse in 5 Minuten ½ Unze = 15 Kubikcentimeter Lymphe, wovon für den vorliegenden Zweck der Chylus abzuziehen wäre. Uebertragen wir dieses Quantum auf die Lebensverhältnisse eines gesunden Mannes, so werden wir als gewiss annehmen dürfen, dass bei diesem der *ductus thoracicus* in 5 Minuten nicht über 100 Kubikcentimeter reiner Lymphe liefern werde. In dem gleichen Zeitraume befördert aber der linke Ventrikel, die Kapazität desselben nur = 100 angenommen, ein 350mal grösseres Flüssigkeitsquantum. Aus diesen beiläufigen Bestimmungen, bei denen die Aktion der Sekretionsorgane füglich ausser Rechnung gelassen werden durfte, lässt sich mit Sicherheit entnehmen, dass von der durch den linken Ventrikel ausgeschickten Flüssigkeit kein volles Prozent (vielleicht kaum ein *Promille*) die Gefässhöhle verlässt, dass mithin von 100 Teilen umkreisender Flüssigkeit 99 Teile (+ einem Bruchteile) den Weg vom linken zum rechten Herzen, in der Röhrenleitung des Blutgefässsystemes stetig fortrückend, zurücklegen. Die physiologischen Thatsachen lehren nun, dass das von dem Körper zurückkehrende Blut der warmblütigen Tiere ohne erneuerte Sauerstoffaufnahme nicht im stande ist, den chemischen Prozess im Körper zu unterhalten, dass mithin der in den Lungen von dem Blute aufgenommene Sauerstoff bei jedem Circuitus vollständig (oder nahe vollständig) zur Unterhaltung des chemischen Prozesses verwendet wird. Wollte man nun auch annehmen, dass der aus den Lungen dem Körper zugeführte atmosphärische Sauerstoff gleichförmig über die Blutflüssigkeit verbreitet sei, mit andern Worten: wollte man auch, allen chemischen und physiologischen Thatsachen zum Trotz, die wichtige Rolle, welche die Blutkörperchen beim chemischen Prozesse spielen, zu Gunsten der Lymphe negieren, so dürfte doch immer noch behauptet werden, dass kein volles Prozent des aufgenommenen atmosphärischen Sauerstoffes aus der Gefässhöhle auswandert, oder:

dass nicht der hundertste Teil des Oxydationsprozesses im Körper ausserhalb der Gefässwandungen erfolgt.

Dieser Satz wird durch physiologische Beobachtungen direkt bestätigt. Die notwendige und nächste Folge des aufgehobenen Oxydationsprozesses ist das Aufhören der Produktion von Wärme und mechanischem Effekt, und im weiteren Verlaufe das Eintreten der Fäulnis. Allgemein geschieht dieses z. B. nach Verschliessung der Luftröhre, und örtlich sowohl nach Unterbindung einzelner Schlagadern als auch der Venen *(Segalas)*. Die Verschliessung des *ductus thoracicus* dagegen wirkt ganz anders, als die der Luftröhre; sie bedingt zunächst nur lymphatische Ausschwitzung und Vernichtung der Chilopoëse. Da nun die Bewegung des ausserhalb der Blutgefässe sich befindenden Plasmas nach Unterbindung des Brustganges alsbald ein Ziel finden muss, der Oxydationsprozess nichts destoweniger aber fortdauert, so ist hieraus der Schluss zu ziehen, dass dieser *liquor extra muros* bei dem vitalen Oxydationsprozesse eine jedenfalls nur sehr untergeordnete Rolle zu spielen habe. Der Herd dieses Prozesses ist die Höhle des Blutgefässsystemes, das Blut aber, eine langsam brennende Flüssigkeit, ist das Oel in der Flamme des Lebens.

Unverkennbar üben die festen Teile des Organismus, die Gefässwandungen und mittelbar die Gewebsteile, insbesondere die Nervenfasern, auf die chemische Metamorphose des Blutes einen mächtigen Einfluss aus, — einen Einfluss, durch den im allgemeinen die Energie des Oxydationsprozesses erhöht, oder die Affinität gesteigert wird. Jedermann weiss, dass in zahlreichen Fällen chemische Aktionen von der blossen Anwesenheit gewisser Stoffe bedingt werden, die für sich selbst an der vor sich gehenden Veränderung keinen Anteil nehmen. Will man voraussetzungslos einer konstatierten Thatsache einen Namen leihen, so kann man die Rolle, welche bei solchen Vorgängen die unverändert bleibende Materie spielt, mit dem Ausdruck „Kontakteinfluss“ bezeichnen; sonst pflegt man wohl auch be-

kanntlich von „katalytischer Kraft“ und „katalytischer Wirkung“ zu sprechen; wenn aber unter Kraft nur „die, einer messbaren Wirkung proportionale, messbare Ursache“ verstanden werden soll*), so darf aus begreiflichen Gründen der fraglichen Erscheinung eine specifische Kraft nicht unterschoben werden.

Das durch Sauerstoff gerötete Blut behält, sich selbst überlassen, seine helle Farbe eine Zeitlang unverändert bei, verliert aber dieselbe augenblicklich während seines Durchgangs durch die Kapillargefässe des Körpers; offenbar erleidet also das Blut eine chemische Veränderung unter dem Kontakteinflusse der Gefässwandungen, einem Einflusse, der sich nur in den feineren Gefässen, in denen die Berührungsfläche im Vergleich mit den dickeren Röhren beinahe bis in das Unendliche vergrössert ist, bemerkbar macht. Diese kapillare Ausbreitung des Blutes findet nun in den Lungen ebensowohl statt als im Körper, und es erhellt hieraus, dass die Bedingungen zu einem chemischen Prozesse hier wie dort vorhanden sind.

Das lebende Blut besteht aus zwei mechanisch, chemisch und physiologisch wohl zu unterscheidenden Teilen, aus dem flüssigen Plasma, *liquor sanguinis,* und aus den pulverförmigen Blutkörperchen. Der *liquor* hat keine, oder nur sehr geringe, die Blutkörperchen dagegen haben eine grosse Neigung, Sauerstoffgas in sich aufzunehmen. Dieses bekannte Verhalten nötigt zu dem Schlusse, dass die Blutkörperchen es sind, die in den Lungen den atmosphärischen Sauerstoff aufnehmen, und es beruht demgemäss der vitale chemische Prozess im wesentlichen darauf, dass der von den Blutkörperchen absorbierte Sauerstoff mit kombustibeln Blut-

---

*) „Katalytisch“ heisst eine Kraft, sofern sie mit der gedachten Wirkung in keinerlei Grössenbeziehung steht. Eine Lawine stürzt in das Thal; der Windstoss oder der Flügelschlag eines Vogels ist die „katalytische Kraft“, welche zum Sturze das Signal gibt und die ausgebreitete Zerstörung bewirkt. — Das „katalytische“ dieser Kraft bezieht sich zu allernächst auf die Logik, oder das Kausalgesetz,
31 welches durch selbige paralysiert wird.

bestandteilen zu Kohlensäure und Wasser sich vereinigt. Die Blutkörperchen spielen in dieser Beziehung bei dem Lebensprozesse, wie das Stickstoffoxyd bei der Schwefelsäurebereitung, die Rolle eines Sauerstoffträgers.

Dass die organische Materie der Blutkörperchen an der Verbrennung Anteil nehme, dass sie nach und nach in binäre Verbindungen zerfalle, kann nicht wohl bezweifelt werden; gewiss rührt aber der grösste Teil des Brennmaterials von dem flüssigen Teil des Blutes her. Berechnen wir die mittlere Blutmenge eines Mannes zu 10 kg und die normale Quantität der Blutkörperchen nach *Andral* à 127 pro mille, so gibt dieses 1270 Gramm Blutkörperchen, deren Kohlenstoffgehalt à 50 % zu 635 Gramm angenommen werden kann. Wenn nun die Kohlensäureproduktion auf Kosten der Blutkörperchen allein erfolgen sollte, so müsste die Gesamtmasse derselben je in ungefähr zwei Tagen verbrannt und wieder erneuert sein. In der Anämie beträgt der Gehalt an Blutkörperchen nach *Andral* häufig nur die Hälfte, bisweilen nur ein Sechstel von der normalen Menge; der Totalumsatz dieses Stoffes müsste somit hier in noch viel kürzerer Zeit vollbracht sein*). Mit der Annahme einer solch raschen physiologischen Metamorphose steht aber die Schwierigkeit, mit der bekanntlich die Blutkörperchen sich reproduzieren, in unvereinbarem Widerspruche.

Die Blutkörperchen besitzen, der Kohle und andern porösen Stoffen scheinbar analog, die Fähigkeit, Gasarten

---

*) Unter sonst gleichen Umständen muss mit der Abnahme der Blutkörperchen zugleich die Sauerstoffaufnahme, der Verbrennungsprozess und die Wärmeerzeugung vermindert sein; die Natur hat aber Mittel, diesem verderblichen Sinken der chemischen Aktion entgegenzuarbeiten; der Herzschlag wird frequent und stürmisch, die Cirkulation ist mit besonderen Geräuschen begleitet, die Respiration ist angestrengt, die einzelnen Blutkörperchen nehmen mit verstärkter Energie den Sauerstoff auf, daher nicht selten ein florides Aussehen dieser Kranken. Es erklären sich hieraus die plethorischen Zustände der Bleichsüchtigen; — ein Symptomenkomplex, der nicht uneben mit dem Namen *febris alba* bezeichnet wurde.

zu absorbieren; der Sauerstoff wird von ihnen weit stärker angezogen, als die Kohlensäure; auf diesem Verhalten beruht die physiologische Aktion dieser Organteilchen. *Liebig* (in seinem berühmten Werke: Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie, Braunschweig 1842) leitet diese Eigenschaft von dem Eisengehalt her, und nimmt an, dass in dem schwarzen Blute das Metall als Oxydul, in dem roten als Oxyd vorhanden sei; — eine geistreiche und exakte Theorie, womit sich alle chemischen und physiologischen Thatsachen in Einklang bringen lassen.

Wenn schwarzes Blut mit Sauerstoff in Berührung gebracht wird, so nehmen die Blutkörperchen, die sich dadurch röten, Sauerstoff auf, die eisenfreie Blutflüssigkeit dagegen verhält sich zunächst indifferent. Der aufgenommene arterielle Sauerstoff kann nun durch zweierlei Umstände veranlasst werden, mit organischer Materie sich zu Kohlensäure und Wasser zu kombinieren. Erstens kann dieses geschehen unter Anwesenheit von überschüssigem Sauerstoff, und zweitens unter blossem Kontakteinflusse der Gefässwandungen und der Organe*). Im ersten Falle, wenn z. B. Blut mit vieler atmosphärischer Luft durch Schütteln in genaue und wiederholte Berührung gebracht wird, bleibt das Blut hellrot und die gebildete Kohlensäure wird gasförmig abgeschieden; im zweiten Falle wird das Blut schwarz und die gebildete Kohlensäure wird von den Blutkörperchen aufgenommen. In den Lungen finden beide, den Uebergang des Sauerstoffes an die organische Substanz bedingenden Momente, nämlich die Anwesenheit von überschüssigem Sauerstoff und der Kontakteinfluss zugleich statt, und es muss unter diesen Umständen ein Teil des aufgenommenen Sauerstoffes durch das Blutrot, wie durch einen Leiter, hindurch wandern, während der übrige Teil in den Blutkörperchen bleibt und die rote Farbe derselben bedingt; der erste Teil

---

*) Allmählich erfolgt dieser Prozess auch von selbst in dem aus der Arterie gelassenen Blute.

bildet mit organischer Materie des Blutes Kohlensäure und Wasser, der andre Teil tritt an die Stelle der venösen Kohlensäure der Blutkörperchen, und sämtliche Kohlensäure wird bei dem im Ueberschusse vorhandenen Sauerstoff, vielleicht nach dem Diffussionsgesetze (?) ausgeschieden.

Da unter dem Kontakteinflusse der Lungenkapillaren der Kohlen- und Wasserstoffgehalt des strömenden Blutes Sauerstoff entziehend auf die Blutkörperchen influiert, so lässt sich voraussehen, dass die letzteren in den Lungen nicht vollständig sich sättigen können, und findet man z. B., dass die Lungen des totgeborenen Kindes durch Lufteinblasen höher gerötet werden, als die gesunden Lungen durch die Respiration.

Jedes Individuum ist während seines Lebens oftmals äusseren Veränderungen unterworfen, und der chemische Prozess im Körper muss, wenn Existenz und Gesundheit bewahrt werden sollen, sich gleichzeitig bald erhöhen, bald vermindern, die Oxygenation der Blutkörperchen in den Lungen und die Reduktion im Körper muss unter verschiedenen Umständen in verschiedenem Grade vor sich gehen können, der ganze Prozess darf sich nicht innerhalb zu enge gesteckter Grenzen bewegen. Hierauf beruht die sogenannte Breite der Gesundheit.

Beobachtungen, die ich in den Tropen machte, lehrten mich die Rolle kennen, welche die Blutkörperchen bei dem Verbrennungsprozesse im Körper spielen. Während einer 32
hunderttägigen Seereise war bei der aus 28 Köpfen bestehenden Equipage kein erheblicher Krankheitsfall vorgekommen; wenige Tage aber nach unsrer Ankunft auf der Reede von Batavia verbreitete sich epidemisch*) eine akute (katarrhalisch-entzündliche) Affektion der Lungen. Bei den reichlichen Aderlässen, welche ich machte, hatte das aus der Armvene gelassene Blut eine ungemeine Röte, so, dass ich der Farbe nach glauben konnte, eine Arterie getroffen zu haben. Zugleich war das Blut

*) In der Seesprache heisst die Schiffsmannschaft „Volk“.

sehr reich an Faserstoff*), der Kuchen blieb fest an den Wandungen der Schüssel hängen, und nach 12—16 Stunden hatten sich gewöhnlich nur einige Löffel voll wasserhellen Serums abgesondert; niemals aber zeigte sich eine *crusta phlogistica*. Nach drei Wochen, binnen derer wir nach Surabaya gesegelt waren, verschwanden die Brustleiden, bald aber traten Ruhren und akute Leberkrankheiten auf, welche, sowie das von schwarzen Schönen überkommene Kontagium, unser Schiff bis zum Kap der guten Hoffnung zurückbegleiteten. Da die Militärärzte von dem Hospital Simpang auf Surabaya mir die Venäsektionen bei akklimatisierten Europäern als gewagt bezeichnet hatten, so beschränkte ich mich fast durchgängig auf örtliche Blutentziehungen. Bei einem der reichlichen Aderlässe, welche ich zwei Monate nach unsrer Ankunft in Java an einem kräftigen, von einer Leberentzündung befallenen Matrosen anstellte, fand ich eine normale schwarze Farbe des Blutes.

Aus den bisher betrachteten Gesetzen folgt mit Notwendigkeit, dass der Temperaturunterschied zwischen der Eigenwärme des Organismus und der Wärme des umgebenden Mediums in einer Grössenbeziehung mit dem Farbenunterschiede beider Blutarten, des Arterien- und des Venenblutes stehen müsse. Je grösser dieser Temperaturunterschied, oder die Kraftproduktion, um so grösser muss auch der Farbenunterschied, und je kleiner der Unterschied der Temperatur, um so kleiner auch der der Farbe sein. Dieser Farbenunterschied ist ein Ausdruck für die Grösse des Sauerstoffverbrauches, oder für die Stärke des Verbrennungsprozesses im Organismus.

Wir erinnern hier an die Temperatur- und Farbenverhältnisse der kaltblütigen Tiere, der Winterschläfer, des Fötus, der Blausüchtigen, an die helle Röte des Blutes, die

---

*) Eine Ausnahme machte ein Matrose, *Bornet*. Von Brustleiden verschont, wurde er zur nämlichen Zeit von einer heftigen *iritis syphilitica* befallen, gegen welche unter anderm zwei Venäsektionen in Anwendung gebracht wurden. Das Blut war reich an dunkelschwarzem Cruor, an Faserstoff dagegen arm.

Thackrah beobachtete, als er einem Patienten im warmen Bade zur Ader liess, endlich an die Farbenverschiedenheit des venösen Blutes in den verschiedenen Jahreszeiten, wie sie seit *Autenrieth* bekannt ist. In die letzte Kategorie fallen die soeben angeführten Beobachtungen. Die Temperaturdifferenz hatte in offener See 15 und mehr Grade betragen, die Luft war bewegt, kühlend; an der javanischen Küste war die Differenz durchschnittlich kaum 5°, die Luft selten stark bewegt, oft ganz stagnierend. Die Natur hatte nun die Aufgabe, in einem entsprechenden Grade den chemischen Prozess zu vermindern, und dieses geschah zu- 33
nächst dadurch, dass die arteriellen Blutkörperchen in den Kapillaren des Körpers nur unvollkommen reduziert wurden, woher die arterielle Farbe des Venenblutes. Bei längerem Aufenthalte in der heissen Zone treten aber andre Verhältnisse ein; infolge eines veränderten Einflusses des Lungengewebes auf das in ihren Kapillaren enthaltene Blut — infolge einer Umstimmung des Organs, die wir nicht näher zu bezeichnen im stande sind — und wahrscheinlich auch infolge einer chemischen Veränderung der Blutkörperchen werden diese in den akklimatisierten Individuen die Träger einer geringeren Menge von Sauerstoff, und während zuvor das Venenblut an Röte dem Arterienblute nahe kam, wird jetzt das Arterienblut durch seine Schwärze dem Venenblute der kälteren Zone ähnlich; die Röte der Wangen geht verloren und der Akklimatisierte erhält die bekannte atrabilarische Gesichtsfarbe.

Wie das Blatt der Pflanze einen gegebenen mechanischen Effekt, das Licht, in eine andre Kraft, in chemische Differenz verwandelt, so erzeugt der Muskel auf Kosten der in seinen Kapillargefässen aufgewendeten chemischen Differenz den mechanischen Effekt. Die freie Wärme vermag weder der Pflanze für die Sonnenstrahlen, noch dem Tiere für den chemischen Prozess Ersatz zu bieten; jede tierische

Bewegung geht unter Verbrauch von Sauerstoff, unter Bildung von Kohlensäure und Wasser vor sich; jeder Muskel, dem die Zufuhr von atmosphärischem Sauerstoff abgeschnitten wird, stellt seine Funktionen ein.

Während die Fasern sich beugen und der Muskel, ohne eine Volumensveränderung zu erleiden, sich verkürzt, wird die bald bedeutende, bald geringe Leistung hervorgebracht; gleichzeitig geht in den Kapillaren des Muskels ein Oxydationsprozess von statten, dem eine Wärmeproduktion entspricht; von dieser Wärme wird bei der Aktion des Muskels ein Teil „latent“ oder aufgewendet, und dieser Aufwand ist proportional der Leistung, oder dem Produkte aus dem gehobenen Gewichte in die Höhe, oder dem Produkte aus dem bewegten Gewichte [der bewegten Masse] in das [halbe] Quadrat der Geschwindigkeit, oder überhaupt: dieser Aufwand ist proportional dem erzeugten mechanischen Effekt. Der Muskel, um in einer bekannten Terminologie zu reden, verwendet Wärme im *status nascens* zu seiner Leistung.

Näheres über die Art und Weise, wie das Organ, der Muskel, die Metamorphose einer chemischen Differenz in mechanischen Effekt vollbringt, wissen wir nicht zu sagen. In unzähligen Fällen gehen die Umwandlungen der Materien und der Kräfte auf anorganischen und organischen Wegen vor unsren Augen vor, und doch enthält jeder dieser Prozesse ein für das menschliche Erkenntnisvermögen undurchdringliches Mysterium. Die scharfe Bezeichnung der natürlichen Grenzen menschlicher Forschung ist für die Wissenschaft eine Aufgabe von praktischem Werte, während die Versuche, in die Tiefen der Weltordnung durch Hypothesen einzudringen, ein Seitenstück bilden zu dem Streben des Adepten. —

Kennt man die Grösse der Leistung eines Muskels, so kennt man *eo ipso* auch die Grösse der verwendeten chemischen Kraft; bei den meisten willkürlichen Bewegungen kombinieren sich aber die Aktionen einer ziemlich grossen Anzahl von Muskeln, und die Leistungen, welche ein und

derselbe Muskel bei verschiedenen Kontraktionen vollbringt, sind von so verschiedener Grösse, dass es schwer hält, allgemeine quantitative Bestimmungen aus den speciellen Fällen zu abstrahieren.

Ueber die Leistung und den Verbrauch des Herzens wurden oben S. 88 annähernde Berechnungen angestellt; wir wollen damit nun eine willkürliche Muskelaktion, die der Wadenmuskeln nämlich, vergleichen, wobei wir die von *Valentin* (Lehrbuch der Physiologie des Menschen, 1844, II. 169) gegebenen Zahlen zu Grunde legen. Wir nehmen an, dass ein starker Mann durch eine mässig kräftige Zusammenziehung dieser Muskeln, auf einem Fusse stehend, sein Körpergewicht 13 Centimeter hoch heben kann, wobei der, der Verlängerung des mittleren Ansatzes der Achillessehne entsprechende Punkt der Fusssohle nahe an $4\frac{1}{2}$ Centimeter vom Boden entfernt wird. Hiernach ist nun, wenn man das Körpergewicht zu 75 kg annimmt, die durch die einmalige Kontraktion des *musculus gastrocnemius, soleus* und *plantaris* bewirkte Leistung = 2030 Gramm auf 1 Meter gehoben, was der Verbrennung von $\left\{\begin{array}{l}0{,}558 \text{ Milligramm}\\ 0{,}009 \text{ Gran}\end{array}\right\}$ Kohlenstoff oder $4{,}77^{0}$ Wärme äquivalent ist. Das Gewicht der in Rede stehenden drei Muskeln betrug bei einer von *Valentin* vorgenommenen Wägung 896,9 Gramm, und hiernach schätzen wir die Menge des in den Kapillargefässen dieser Muskeln enthaltenen roten Blutes im Minimum auf $\frac{1}{15}$ der Fleischmasse oder auf 60 Gramm (= 2 Unzen); der Kohlenstoffgehalt von Fibrin und Albumin beträgt 2,7 Gramm, folglich beträgt der bei einmaliger kräftiger Kontraktion verbrauchte Kohlenstoff etwa $\frac{1}{5000}$ von dem im kapillaren Plasma des wirkenden Muskels enthaltenen Kohlenstoffes.

Die zur Verbrennung obiger 0,558 Milligramm Kohlenstoff erforderliche Sauerstoffmenge ist = 1,47 Milligramm. Wir nehmen nun mit *Liebig* an, dass in dem roten Blute das Eisen (annähernd) als Oxyd, in dem schwarzen Blute als Oxydul vorhanden sei, und finden, dass die in 60 Gramm

Blut enthaltenen 48 Milligramm Eisenoxyd bei ihrem Durchgang durch die Kapillargefässe der genannten Muskeln 4,8 Milligramm Sauerstoff abgeben, welches mehr als das dreifache der exigierten Quantität beträgt.

Bei dieser Rechnung wäre noch zu berücksichtigen, dass ein Teil des verwendeten Sauerstoffes mit Wasserstoff zu Wasser sich verbindet, und dass dieser Teil etwas mehr Wärme gibt, als der, welcher Kohlensäure bildet (etwa im Verhältnis = 4 : 3); dass ferner durch die Reduktion des Eisenoxyds in Oxydul, und durch Verbindung der gebildeten Kohlensäure mit dem Oxydul etwas Wärme einerseits „latent", andrerseits frei wird. Endlich kommt noch hinzu, dass wir die Grösse der wärmeliefernden Fähigkeit organischer Materien nicht kennen, sondern nur nach ihrem Kohlen- und Wasserstoffgehalt zu schätzen vermögen, wobei wir insbesondere über die Rolle, welche der integrierende Sauerstoff bei der Wärmeerzeugung spielt, in Ungewissheit sind. Aus dem allen geht hervor, dass hier nur annähernde Resultate gewonnen werden konnten; immerhin aber wurde die Muskelleistung gross genug und die Blutmenge, respektive der chemische Prozess, klein genug angenommen, um aus vorstehenden Zahlen mit Sicherheit den Schluss ziehen zu können, dass der chemische Prozess in Wirklichkeit mehr als hinreiche, um den zur Leistung nötigen Aufwand zu bestreiten; ja wir müssen sogar als höchst wahrscheinlich den Satz aussprechen, dass der Muskel auch bei der angestrengtesten Zusammenziehung nicht im stande sei, die ganze aus dem chemischen Prozesse resultierende Kraft, ohne gleichzeitige Entwickelung freier Wärme, in mechanische Leistung zu verwandeln; mit anderen Worten: dass der chemische Prozess stets grösser sei, als der Nutzeffekt. Gleiches findet bei den anorganischen Bewegungsapparaten, den Dampfmaschinen und Schiessgewehren, statt. (Vergl. oben S. 58.)

Die Leistung der linken Herzkammer wurde oben (S. 89) = der Hebung von 325,6 Gramm auf 1 Meter oder = 0,3256 Meterkilogramm gefunden; auf gleiche Massen reduziert, ver-

hält sich nun bei einmaliger Kontraktion die Leistung der Wade zu der des Herzens

$$= 2030 \,.\, 136 : 325{,}6 \,.\, 896{,}9 = 20 : 21.$$

In Verbindung mit den myodynamometrischen Messungen *Schwanns* u. a. leitet dieses Resultat zu dem Satze: dass die mittlere Leistung eines Muskels bei einmaliger Kontraktion proportional ist der Masse des Muskels, oder dem Produkte aus der Zahl seiner Primitivfasern in deren Länge.

Diese These, welche sich durch Einfachheit und innere Wahrscheinlichkeit empfiehlt, kann aber keine Anwendung finden, wo es sich um eine fortgesetzte Arbeit verschiedener Muskelpartien handelt. Nehmen wir wiederum das Gewicht des linken Ventrikels nach *Valentin* = 136 Gramm, das der gesamten Muskulatur aber = 32 kg, und setzen wir wie oben (S. 89) die tägliche Leistung des linken Ventrikels = 32810 Meterkilogramm, die tägliche Gesamtleistung der willkürlichen Muskeln (S. 86) = 300000 Meterkilogramm, so verhält sich die Leistung des Herzens zu der der übrigen Muskulatur, auf gleiche Massen reduziert,

$$= 32810 \,.\, 32000 : 300000 \,.\, 136 = 25 : 1,$$

und es ist also im Verhältnis zur Masse die tägliche Leistung des Herzens 25mal grösser, als die der willkürlichen Muskeln, ja selbst während der Arbeitszeit (diese zu 8 Stunden gerechnet) ist das Herz noch mehr als dreimal thätiger.

Auch mit der Leistung einer einzelnen Muskelgruppe verglichen, stellt sich die Präponderanz des Herzens auf das augenfälligste heraus. Wenn man auf einem Fusse stehend mittelst des *musculus gastrocnemius*, *soleus* und *plantaris* (so man einen solchen besitzt) — übrigens unter Ausschluss der Mitwirkung des *musculus tibialis posticus*, *peronaeus longus et brevis* — die Ferse 4 Centimeter in die Höhe hebt, so entspricht diese Leistung, die niemanden schwer fällt, ungefähr einer Systole der Herzventrikel; will man aber diese Arbeit den Pulsschlägen isochronisch fortsetzen,

so wird man sich gar bald genötigt sehen, von der Konkurrenz mit dem Herzen abzustehen, denn wie gelähmt werden die Muskeln auch dem angestrengtesten Willen den Dienst versagen; nach kurzer Pause kann die Arbeit von neuem beginnen u. s. f. Die Thatsache ist jedem Menschen bekannt, ihre richtige Erklärung aber ist ein physiologisches Problem von Wichtigkeit; sie folgt aus dem bisherigen von selbst. Es setzt die Muskelleistung einen entsprechenden Vorrat von atmosphärischem Sauerstoff, von arteriellem Blute voraus; da nun der Wiederersatz des Verbrauchten an eine bestimmte Zeitdauer geknüpft ist, so findet die Summe der Leistungen hierin eine Grenze, die in einer gegebenen Periode nicht überschritten werden kann; wenn der Vorrat von arteriellen Blutkörperchen in den Kapillaren des Muskels verbraucht ist, so hat die Aktion ein Ende. Bei einmaliger Zusammenziehung wird nun die Leistungsfähigkeit nahe proportional sein der arteriellen Blutmenge, die in den Kapillaren des ruhenden Muskels sich aufzuhalten pflegt — dem Blutvorrate, der wiederum mit der Masse des Muskels im Verhältnisse steht —; wo es sich aber um die Summe der Leistungen handelt, welche ein Muskel in längerem Zeitraume hervorzubringen fähig ist, da verliert die ursprünglich gegebene Blutmenge ihre Bedeutung, und es kommt an ihrer Stelle die grössere oder geringere Leichtigkeit des fortlaufenden Wiederersatzes in Betracht; mit andren Worten: es hängt dann die Produktivität des Muskels einzig von der Menge des durchströmenden Blutes ab. So ist also die dauernde Leistungsfähigkeit nicht der Masse des Muskels, sondern sie ist der Masse des durchkreisenden Blutes proportional. Die momentane Leistung hängt mit den myologischen, die dauernde mit den angiologischen Verhältnissen des Bewegungsapparates zusammen.

Das Herz, welches allen Organen das Blut zusendet, hat sich selbst bei dieser Austeilung wie billig zuerst bedacht. Zwei Schlagadern von verhältnismässig sehr beträchtlicher Grösse führen seiner Substanz das arterielle Blut zu,

dessen Cirkulationsgeschwindigkeit grösser ist als in allen andren Organen. Es folgt dieses aus der Ursprungsstelle der Kranzarterien am Anfange der Aorta, aus der Kürze des Weges, den das Blut zurückzulegen hat, und aus der Anordnung der Herznerven; diese ergiessen sich in eine gemeinschaftliche kelchartige Ausmündung, *ostium venae magnae*, unmittelbar in den rechten Vorhof, und bieten so der Aspiration eine bedeutende Fläche dar, wodurch, während das Venenblut andrer Organe gegen einen centrifugalen Druck zu kämpfen hat, das Blut des Herzens in centripetaler Richtung fortgezogen wird.

Wird das Herz durch die Regulatoren seiner Thätigkeit, durch die Nerven, vom Rückenmarke aus zu vermehrten Aktionen veranlasst, so wird diesem Muskel gerade durch die vergrösserte Leistung unmittelbar auch der nötige Stoff in grösserer Menge zugeführt; bei sehr verminderter Thätigkeit dagegen erhält sich die Zirkulation im Herzen selbst am längsten, und dieses Organ kann noch fortfahren, chemische Kraft sich zuzuführen und zu verarbeiten, wenn der Pulsschlag am Handgelenke schon lange aufgehört hat.

Im Gegensatze mit dem, zu grosser Thätigkeit berufenen Herzen zeichnet sich das Fleischpolster, womit uns die Natur den Rücken gedeckt hat, ebensowohl durch indolentes Verhalten, durch geringe tägliche Leistung, als durch Gefässarmut aus; die Muskeln der Extremitäten aber liegen in Beziehung auf Leistungsfähigkeit und Gefässreichtum in der Mitte, und zwischen diesen und dem Herzen liegen die unermüdlichen Interkostalmuskeln und das Zwerchfell. Durch Uebung werden die Muskeln vaskulös, in anhaltender Ruhe aber werden sie blass. Muskeln, welche durch irgend eine Veranlassung andauernd dienstunfähig geworden sind, degenerieren in eine blutlose Masse; die Natur befolgt in weiser Sparsamkeit den Grundsatz: wer nicht arbeitet, soll auch nicht essen. Die Gebärmutter ist, bald von Blute entblösst, zu Leistungen unfähig, bald vermag sie, blutreich, kräftige Zusammenziehungen auszuüben. Die Wandungen der Blutgefässe selbst bedürfen, um sich aktiv zusammenziehen

zu können, einer arteriellen Blutzufuhr; durch blosse Elasticität dagegen wird kein mechanischer Effekt produziert, daher vermag die gelbe elastische Faser, ohne funktionelles Blut zu erhalten, ihren Zweck zu erfüllen.

Die in den Kapillaren des Körpers allenthalben vor sich gehende Oxydation von Brennmaterial erzeugt eine entsprechende Menge von Wärme. Der ruhende Muskel verhält sich hier wie jeder andre bewegungslose Teil, der thätige Muskel dagegen verwendet Brennmaterial zur Produktion mechanischer Effekte. Bei jeder Muskelaktion wird Wärme im *status nascens* „latent“. Wenn nun der Blutdurchlauf oder der chemische Prozess im Muskel nicht gleichzeitig und verhältnismässig mit der Leistung verstärkt ist, so muss die Wärmeproduktion im Muskel während der Arbeit geringer sein als in der Ruhe.

Besteht die Leistung in der Erhebung von 75 kg auf 1 Pariser Zoll oder 2,7 Centimeter, so beträgt die latente Wärme 5^0; wenn nun diese Leistung, wie oben angenommen wurde, als das Resultat einer Zusammenziehung von 896,9 Gramm Muskelsubstanz erfolgt, so beträgt der Wärmeverlust dieser Muskelmasse (die Wärmekapazität des Fleisches = der des Wassers gesetzt) bei einmaliger Kontraktion

$$\frac{5^0}{896{,}9} = \frac{1^0}{180}.$$

Bei fortgesetzter Arbeit summiert sich dieser Wärmedefekt und kann durch Beobachtung wahrgenommen werden. Hierher gehört, was oben S. 84 über den Antagonismus von Wärme- und Bewegungsproduktion allgemein gesagt wurde. *Douville (Journal de Chimie médicale, VIII. Année, Février)* fand die Temperatur

bei einem Neger faul	und unthätig	in der Kabane	37^0
desgl.	desgl.	in der Sonne	$40{,}20^0$
desgl.	thätig	in der Sonne	$39{,}75^0$.

Wenn man bei grosser Kälte eine anstrengende Arbeit beginnt, so empfindet man ein Frostgefühl in den thätigen Körperteilen. Der Holzsäger wechselt des Winters beim Beginn seines Tagewerkes häufig mit der Hand, denn durch

den Handschuh hindurch friert ihn, bis er sich warm geschafft hat, in den arbeitenden Arm. Das Sägeblatt etc. erhitzt sich; den Ursprung dieser Wärme kennen wir genau; sie verdankt ihr Dasein einer Oxydation in den Kapillaren der Muskeln. Ein gewandter Schmied bringt ein kaltes Stück Eisen durch Hämmern ins Glühen; diese Wärme aber entsteht auf Kosten der Temperatur seines Armes. *Ex nihilo nil fit.*

Der Wärmeausfall während der Arbeit würde weit bemerkbarer sein und die Leistungsfähigkeit der willkürlichen Muskeln wäre in enge Grenzen eingeschlossen, wenn nicht während der Arbeit sowohl örtlich als allgemein der chemische Prozess erhöht wäre. Der angestrengte Körperteil turgesziert; öffnet man hier eine Vene, so entströmt das Blut in verstärktem Masse. Die Respirations- und Cirkulationsbewegungen werden reflektorisch erhöht, wenn der Organismus mechanische Effekte produziert; bei jeder angestrengten Arbeit beschleunigen sich Atem und Herzschlag, und zwar für eine gleiche Leistung aus leicht begreiflichen Gründen um so stärker, je schwächer der chemische Prozess in dem ruhenden Individuum vor sich geht; eine Leistung, die dem Kräftigen nur wenige Atemzüge kostet, kann in blutleeren, chlorotischen, cyanotischen, skorbutischen Subjekten turbulente Vermehrung der Respiration und Cirkulation, Erstickungszufälle und Herzzappeln hervorrufen.

Aber auch die kräftigsten Menschen und Tiere geraten bei starker Produktion von mechanischem Effekte, z. B. beim raschen Besteigen einer Anhöhe, zumal belastet, in Atem und Herzklopfen. Die Natur ist darauf bedacht, ihrem Geschöpfe das nötige Material zu seiner Anstrengung beizuschaffen*). Mit dem Zusammenhange chemischer und

---

* Bei fortgesetzter und übermässig gesteigerter Anstrengung kann der quantitativ erhöhte Stoffwechsel eine qualitative Veränderung erleiden und in einem pathologischen Prozess ausarten. Die septischen Erscheinungen, welche man z. B. an zu Tode gehetzten Hirschen wahrgenommen hat, lassen sich hieraus erklären.

mechanischer Aktionen unbekannt, waren die Physiologen ausser stande, diese einfache und allbekannte Thatsache richtig zu erklären. So sagt *Valentin*, *Physiologie*, Bd. I. S. 576:

„Ein Mensch, welcher einen Berg besteigt, atmet mühsamer, weil er behufs der Korrektion der Veränderung seines Schwerpunktes seinen Oberkörper nach vorn beugen muss, und weil auf diese Weise, indem zugleich Gehbewegungen vollführt werden, die Thätigkeit seiner Atemmuskeln auf bedeutendere Schwierigkeiten stösst. Aus ähnlichen Gründen verstärkt sich auch die Respiration eines Menschen, welcher läuft, springt, tanzt u. dergl.“

Das Irrige dieser Erklärungsweise liegt auf der Hand. In der Ruhe tritt auch bei der unbequemsten Körperstellung keine vermehrte Respiration ein, und gerade beim Springen und Tanzen, beim Laufen bergab und bergan und auf der Ebene, beim Besteigen einer hohen Treppe etc. stösst die Thätigkeit der Atemmuskeln auf keinerlei Schwierigkeit, insbesondere aber bleibt die Vermehrung der Lufteinfuhr, des Sauerstoffverbrauches, der Kohlensäureproduktion, des Bedürfnisses nach Kombustibilien, wie sie bei der Arbeit, beim Bergsteigen etc. konstant stattfindet, so lange unerklärt, als statt des vermehrten Erfolges nur die vermehrte Anstrengung bei der Respiration des Arbeiters einseitig ins Auge gefasst wird.

Wenn die Verstärkung des chemischen Prozesses im Organismus eingeleitet ist, so wird damit auch freie Wärme in grösserer Menge produziert (vergl. oben S. 86), die Temperatur der Körperoberfläche wird erhöht, und es erfolgt Transpiration. Bemerkenswert aber ist, dass die thätigsten Körperteile am wenigsten zu schwitzen pflegen. Kräftige Bauernmädchen, deren Hände beim Stricken u. dergl. in starken Schweiss geraten, können schwere Feldarbeiten verrichten, ohne dass die Haut ihrer Arme und Hände feucht wird. Auf die Schweissbildung, welche an dem keine mechanischen Effekte produzierenden

Kopfe während der Arbeit erfolgt, deutet schon *Moses* hin, wo Gott zu *Adam* spricht: „Im Schweiss deines Angesichts sollst du dein Brot essen.“ 34

Die Fähigkeit eines lebendigen Gewebes, chemische Kraft in mechanischen Effekt verwandeln zu können, heisst *Irritabilität*.

Um eine möglichst klare Einsicht in die Natur dieser organischen Qualität zu gewinnen, wollen wir dieselbe mit einer Eigenschaft gewisser anorganischer Materien zusammenstellen, mit der Fähigkeit der Gasarten, Wärme in mechanischen Effekt zu verwandeln — mit der *Expansibilität*, und müssen zu dem Ende einige Hauptsätze, welche sich auf die Wärme- und Bewegungsverhältnisse der expansibeln oder elastisch flüssigen Materien beziehen, in Kürze hier anführen.

Wenn zu einer unter konstantem Drucke sich befindenden Gasart eine bestimmte Menge von Wärme $= x$ hinzutritt, so wird ein Teil dieser Wärme zur Temperaturerhöhung des Gases verwendet, und dieser Teil $= y$ besteht als freie Wärme fort, ein andrer Teil wird „latent“ und bringt den mechanischen Effekt $= z$ hervor. Es ist nun

$$x = y + z.$$

Setzen wir den in den Kapillaren eines Muskels vor sich gehenden Oxydationsprozess, oder die diesem entsprechende Wärme $= x'$, die wirklich entwickelte freie Wärme $= y'$, und den gelieferten mechanischen Effekt $= z'$, so ist wieder

$$x' = y' + z'.$$

Nach der in der Mechanik befolgten mathematischen Methode wird die physische Kraft z oder z' als ein Produkt aus einem Druck oder Zug in den Wirkungsraum dargestellt. Es ist nun dieser Druck bei Gasen sowohl als bei Muskeln dem Wirkungsraume umgekehrt proportional. Der von einem Gase ausgeübte Druck steht mit der Expansion des Gases in umgekehrtem Verhältnisse:

*Boyle*sches oder *Mariotte*sches Gesetz. Die Stärke des Zuges nimmt proportional der Zunahme der Kontraktion des Muskels ab: *Schwann*sches Gesetz*).

Da die Elasticität der Gase und die Irritabilität der Muskeln Eigenschaften sind, die sich auf die Metamorphose gegebener Kräfte beziehen, so ist die Existenz dieser Eigenschaften notwendig an die Existenz der respektiven Kräfte geknüpft. Wo nichts ist, da lässt sich auch nichts umwandeln. Ohne Wärme ist keine Elasticität, ohne chemische Differenz, oder ohne chemischen Prozess keine Irritabilität denkbar.

Der Temperaturgrad, bei welchem die Elasticität erlischt, ist *ceteris paribus* bei verschiedenen Gasarten bekanntlich sehr verschieden. Es gründet sich hierauf die Einteilung in permanente Gasarten und in Dämpfe.

Das Dasein der Irritabilität ist an das Vorhandensein von kapillarem Sauerstoff und Kohlenstoff geknüpft; das Mass der notwendigen Menge physischer Kraft, oder das mögliche Minimum derselben, ist aber, wie bei den Gasarten, so auch hier bei verschiedenen Muskelfasern sehr verschieden. Es gründet sich darauf die bekannte graduelle

---

*) Man kann sich die Entstehung des mechanischen Effektes z oder z' so vorstellen, dass bei der Ausdehnung des Gases, oder bei der Zusammenziehung des Muskels, ein Gewicht P in vertikal aufsteigender Richtung den Weg h zurücklegt. Der Druck ist nun $= P$ der Wirkungsraum $= h$, und es ist $z = P \,.\, h$. Da aber von dem Gase oder dem Muskel durch den Wirkungsraum hindurch kein gleichförmiger, sondern ein abnehmender Druck ausgeübt wird, so muss dem Gewichte P auf jedem Punkte von h ein andrer Wert zukommen. Man bezieht nun, um einen bestimmten Wert von P zu erhalten, den Druck zunächst nicht auf die explicite Linie h, sondern nur auf einen Punkt dieser Linie, oder man setzt den Wirkungsraum $h = 0$. Mit dem Faktor h wird auch das Produkt $z = 0$. Für den speziellen Wert $z = 0$, und $x = y$, heisst P der „statische Druck“, und auf diesen beziehen sich die im Texte genannten Gesetze. Für den Muskel wird $x' = y'$, und $z' = 0$, wenn der Vorrat von arteriellem Blute in den Kapillaren ein unveränderlicher bleibt (wie beim Gase die Temperatur), und auf d i e s e n Fall ist das Schwannsche Gesetz zu beziehen.

Verschiedenheit der *Irritabilitätspermanenz,* oder der Lebenszähigkeit verschiedener Tierklassen.

Bei grosser Permanenz können Tiere ihren Lebensfunktionen unter Einfuhr einer geringen Sauerstoffmenge obliegen, der Respirationsakt kann längere Zeit ohne Nachteil unterbrochen werden, und asphyktische Zustände gehen nur allmählich in wahren Tod über. Bei Tierarten mit geringer Permanenz ist dagegen eine ununterbrochene reichliche Sauerstoffaufnahme die unerlässliche Bedingung der Muskelirritabilität, und die Schwächung des chemischen Prozesses führt alsbald zu Asphyxie und Tod.

Nach eingetretenem Tode sind die Muskeln der ersten Kategorie noch geraume Zeit im stande, sich kräftig zusammenzuziehen, dagegen sinkt die Leistungsfähigkeit nicht permanenter Muskeln mit dem Augenblick des Todes plötzlich herab und ist in kurzem spurlos verschwunden.

Die Bewegungsapparate kaltblütiger Tiere zeigen sich im allgemeinen den permanenten Gasen, die der warmblütigen Tiere aber den Dämpfen analog.

Der Zeitraum, binnen dessen die Muskeln eines getöteten Tieres die Fähigkeit, sich zusammenzuziehen, behalten, oder die Dauer der Reizbarkeit hängt von zweierlei Momenten ab; erstens von der Irritabilitätspermanenz des Muskels an und für sich, und zweitens von der Anwesenheit des zur chemischen Aktion nötigen Materials. Wo das letztere fehlt, da erlischt die Irritabilität auch bei der grössten Permanenz; ist dagegen dieses Material reichlich vorhanden, so kann, einer geringen Permanenz ungeachtet, noch Reizbarkeit gefunden werden.

Es wurden oben S. 57 angegeben, dass durch die Verbrennung von einem Gewichtsteile Kohlenstoff eine Last von 3637000 Gewichtsteilen ein Meter hoch gehoben werden könne. Der zu einzelnen schwachen Kontraktionen nötige Verbrauch muss hiernach seiner Kleinheit wegen aufhören, eine wahrnehmbare Grösse zu sein; erst durch Summierung der Einzelleistungen wird dieser Verbrauch mehr und mehr bemerkbar. Durch wiederholte Leistungen muss durchgängig

die Dauer der Reizbarkeit abgekürzt werden, denn der Vorrat an Oxygen und Brennstoff wird durch die Aktionen erschöpft. Ein permanent irritabler Muskel mag im stande sein, noch einige kräftige Leistungen zu vollbringen, nachdem ein grosser Teil seines kapillaren Blutes durch Wasserinjektion entfernt worden war, an Ausdauer aber muss er dem nicht injicierten Muskel notwendig nachstehen. Der Zutritt von atmosphärischer Luft und eine den chemischen Prozess begünstigende mässige Wärme verlängert aus leicht begreiflichen Gründen die Dauer der Reizbarkeit, am kräftigsten aber wird der zusammensinkenden Irritabilität durch Zufuhr von Oxygeniphoren unter den Arm gegriffen; mithin, wenn die Irritabilität des Herzens aus Mangel an chemischem Material zu erlöschen droht, so lässt sich oft noch durch die Transfusion Hilfe schaffen. Die oben S. 109 gegebene beiläufige Berechnung gab das Resultat, dass bei einer kräftigen Zusammenziehung der Wadenmuskeln circa $^1/_4$ des disponibeln kapillaren Sauerstoffes und $^1/_{5000}$ des Kohlenstoffes zu mechanischem Effekte verbraucht wird. Das gleiche Verhältnis muss für die Herzaktion gelten. Aus diesen Zahlen ergibt sich unmittelbar die bekannte praktische Lehre, dass „das belebende Prinzip“ in den Blutkörperchen und nicht in dem *liquor sanguinis* enthalten ist*).

Bei den Reptilien ist die Dauer der Reizbarkeit durchschnittlich grösser, als bei den Fischen; hieraus dürfen wir jedoch noch nicht auf eine grössere Irritabilitätspermanenz schliessen, da jene Dauer von dieser Permanenz und von der in den Kapillaren vorhandenen disponibeln Sauerstoffmenge zugleich abhängig ist.

Das Arterien- und Venenblut der Reptilien vermengt sich beständig miteinander; viele Blutkörperchen legen, ohne neuen Sauerstoff aufgenommen zu haben, wiederholt den Weg durch die Körperkapillaren zurück. Hieraus ist zu

---

*) Die verderblichen Folgen, welche nach der Infusion einer, wenn auch nur geringen, Quantität heterogener Blutkörperchen schnell eintreten, lassen sich dermalen nicht erklären.

schliessen, dass die Blutkörperchen der Reptilien die Bestimmung haben, nur allmählich ihren Sauerstoff in dem Körper abzugeben, und dass sie diesen Sauerstoff fester zurückhalten, als die Blutkörperchen derjenigen Tierklassen, bei denen keine Mengung von Arterien- und Venenblut statthat. Die Reptilien sind durch ihre Lebensverhältnisse zum Teil darauf angewiesen, eine geraume Zeit ohne Sauerstoffzufuhr auszudauern, in irrespirale Gasarten, in Wasserstoff oder Stickstoff gebracht, fahren sie eine Zeit lang Kohlensäure zu bilden fort. Zieht man dabei noch in Betracht, dass den Reptilien der Sauerstoff in einer viel konzentrierteren Form dargeboten ist als den Fischen, so gelangt man zu dem Schlusse, dass die Blutkörperchen der Reptilien in ihren physiologischen Verhältnissen sich von den Blutkörperchen der Fische unterscheiden: 1. durch eine in den Kapillaren der Respirationsorgane erfolgende stärkere Ladung mit Sauerstoff, und 2. durch eine successive Entladung in den Kapillaren des Körpers.

Je grösser ein Blutkörperchen ist, um so mehr Sauerstoff wird dasselbe aufzunehmen und zurückzuhalten im stande sein. Es ergibt sich hieraus eine einfache Beziehung zwischen den physiologischen Verrichtungen der Blutkörperchen und ihren Volumensverhältnissen, und wir müssen zugleich in der Grösse dieser Körperchen ein bedeutungsvolles Moment für die Dauer der Reizbarkeit anerkennen. In der That finden sich die grössten Blutkörperchen und die längste Dauer der Reizbarkeit: bei den nackten Amphibien; mittlere Grösse und mittlere Dauer: bei den beschuppten Amphibien; die kleinsten Blutkörperchen und die geringste Dauer unter den kaltblütigen Wirbeltieren: bei den Fischen.

Es wurde oben (S. 58, 87) gesagt, dass durch gute Dampfmaschinen ungefähr $^1/_{20}$, durch Geschütze $^1/_{10}$*), durch

---

*) Bei diesen beispielsweise gegebenen Bestimmungen wurde die Verbrennungswärme von Stein- und Holzkohlen der des Kohlenstoffes gleich gesetzt.

Säugetiere 1/5 der Verbrennungswärme in mechanischen Effekt umgewandelt werden könne. Fragen wir jetzt, wie gross ist der von den Muskeln in mechanischen Effekt verwandelte Teil der aufgewendeten Kraft? Heisst diese Kraft x', der mechanische Effekt z', so wird gefragt, wie gross ist $\frac{z'}{x'}$? oder, wie wir der Kürze wegen diesen Bruch nennen wollen, wie gross ist der mechanische Quotient des Muskels? Je grösser dieser Quotient ist, je mehr er sich der Einheit nähert, um so vorteilhafter, oder um so ökonomischer arbeitet der Muskel.

Bei dem Mangel an experimentalen Bestimmungen, deren Auffindung hier mit kaum überwindlichen Schwierigkeiten verknüpft ist, müssen wir uns mit Vermutungen und Wahrscheinlichkeiten begnügen. Diese in kurze Worte zusammengefasst, gelangen wir zu folgenden allgemeinen Sätzen: 1. Je stärker in einem Tiere der chemische Prozess oder die Kohlensäurebildung ist, um so kleiner ist der mechanische Quotient, und um so geringer ist im Verhältnis zur Wärmeproduktion die mechanische Leistung. 2. Nach Analogie der elastischen Flüssigkeiten ist der mechanische Quotient bei permanent irritabeln Muskeln am grössten.

Es ergeben sich hieraus für die Wirbeltiere folgende Verhältnisse:

Kohlensäurebildung am stärksten, mechanischer Quotient und Irritabilitätspermanenz am kleinsten: bei den Vögeln.

Kohlensäurebildung etwas schwächer, mechanischer Quotient und Permanenz etwas grösser: bei den Säugetieren.

Kohlensäurebildung gering, Quotient und Permanenz gross: bei den Reptilien.

Geringste Kohlensäurebildung, grösster Quotient und grösste Permanenz (?) bei den Fischen*).

---

* Unter den Wirbeltieren kommt offenbar den warmblütigen bei gleicher Körpergrösse die grösste dauernde Leistungsfähigkeit zu. Sie wurde von der Natur unter Aufopferung ökonomischer Rücksichten erzielt, denn die warmblütigen Tiere verbrauchen im Verhältnis ihrer Leistung mehr Brennmaterial als die kaltblütigen. Die letztern oxy-

In dem Fötus ist der chemische Prozess weit schwächer, als in dem Neugeborenen; dieses geht schon aus dem im Fötalzustande fehlenden Farbenunterschiede der beiden Blutarten hervor. Die Produktion mechanischer Effekte durch Herz und willkürliche Muskeln ist dagegen vor und nach der Geburt ungefähr gleich gross. Es folgt hieraus, dass der mechanische Quotient vor der Geburt viel grösser sein muss, als nach derselben. Mit der Geburt ändert sich auch die *Irritabilitätspermanenz* plötzlich; die Prognose in asphyktischen Zuständen ist bei geatmeten Kindern ganz anders zu stellen, als bei ungeatmeten. Es ist also:

Der chemische Prozess klein, der mittlere Quotient und die Irritabilitätspermanenz gross: beim Fötus.

Der chemische Prozess gross, der mittlere Quotient und die Irritabilitätspermanenz klein: bei dem Geborenen. —

Wird die zwischen der Elasticität der Gase und der Muskelirritabilität gezogene Parallele weiter fortgeführt, so teilt sie das Schicksal aller Analogien; die anfangs naturgemässe Vergleichung wird bald eine gekünstelte und verliert sich zuletzt in Paradoxen. Die Gase sind formlose Materien, die Muskeln aber sind organisiert, und ihre Aktionen hängen mehr oder weniger von dem Einflusse der motorischen Nerven ab; diesen spezifischen Einfluss, dem die expansibeln Flüssigkeiten an und für sich nichts Entsprechendes zeigen, nennen wir *Innervation*.

Die Innervation, die Irritabilität und der chemische Prozess sind die drei Faktoren der Muskelthätigkeit. Die erste hat ihren anatomischen Sitz in dem Gehirn- und

---

dieren wenig; bei reichlich eingeführter Nahrung nehmen sie entweder an Masse zu, oder sie entleeren grosse Mengen von Kombustibilien durch den Darm und das Genitaliensystem. Die Dampfmaschinen sind den warmblütigen Tieren zur Seite zu stellen; sie haben grosse Leistungsfähigkeit und kleinen mechanischen Quotienten. Ob es aber der Technik gelingen werde, „kaltblütige“ und z u g l e i c h wirkungskräftige Bewegungsapparate herzustellen, ist vom physiologischen Standpunkte aus zu bezweifeln.

Nervenmark, die zweite in der Primitivfaser des Muskels, und der Herd des dritten liegt in den Kapillargefässen.

Die Aktion des Muskels, die Umwandlung von chemischer Kraft in mechanischen Effekt, wird auf geheimnisvolle Weise durch einen Kontakteinfluss bedingt, der erfahrungsgemäss dem Nervensysteme zukommt. Insoferne die Bewegungsapparate in verschiedenem Grade von diesem Einflusse abhängig sind, werden sie eingeteilt in willkürliche und unwillkürliche. Stellen wir uns eine Dampfmaschine vor, von der ein Teil arbeitet, sobald Dampf erzeugt wird, ein andrer Teil aber nur auf Veranstaltung des Maschinisten sich in Bewegung setzt, so haben wir auch hier willkürliche und unwillkürliche Bewegungsapparate. Der Maschinist vermag nur mittelst eines gewissen Kraftaufwandes seinen Einfluss auf die ihm zur Disposition gegebenen Apparate geltend zu machen; dieser Kraftaufwand aber ist, verglichen mit der herbeigeführten Maschinenleistung, ein verschwindend Kleines und lässt sich überhaupt bei wachsender Vervollkommnung des Apparates kleiner als jede gegebene Grösse machen. Ebenso nun müssen wir es nicht für möglich, sondern sogar für wahrscheinlich erklären, dass die Innervation, ohne merklichen Aufwand einer physischen Kraft, ohne eine elektrische Strömung und ohne einen chemischen Prozess überhaupt, ihre Herrschaft auf die Muskelaktion ausübe.

Gewisse Veränderungen in der Innervation und im chemischen Prozesse stellen die Ermüdung und Erschöpfung dar.

Sobald die Leistung im Verhältnis zu dem gegebenen physiologisch-chemischen Prozesse zu gross wird, so muss örtliche oder allgemeine Erschöpfung eintreten. Wenn sich die zum chemischen Prozess nötigen Materialien nach eingestellter Leistung wieder sammeln, so erfolgt die Herstellung der Leistungsfähigkeit; es kann dieses in einigem Grade selbst in dem toten Muskel noch geschehen.

Das physiologische Dogma von einem Verbrauche der Reizbarkeit durch die Aktion beruht, in seiner All-

gemeinheit aufgefasst, offenbar auf einem Irrtum. Die unermüdliche Thätigkeit der wichtigsten Muskeln in der tierischen Oekonomie müsste als Ausnahme betrachtet werden, und ein Grundgesetz, von dem so bedeutende Ausnahmen gelten sollen, steht auf schwacher Basis.

So lange der chemische Prozess in angemessener Weise vor sich geht, so lange ist auch keine innere Notwendigkeit vorhanden, dass die Leistung des Muskels ein Ziel finden müsste. Werden die Muskeln eines kräftigen Individuums mässig angestrengt, und fehlt es dabei weder an atmosphärischem Sauerstoff, noch an hämatischem Brennstoff, so bleibt auch bei fortgesetzter Arbeit die Irritabililät eine unveränderliche Grösse.

Der Schlaf, dessen das *Sensorium commune* sich nicht entbrechen kann, hebt zuletzt die Innervation auf und setzt so der willkürlichen Produktion mechanischer Effekte ein Ziel. Die Muskeln und die Nerven aber schlafen nicht. Die dem Willen dienenden Muskeln können im tiefsten Schlafe Bewegungen vollbringen; ein passendes Mahl und die zur Sanguifikation nötige Ruhe bringt dem durch körperliche Anstrengung Erschöpften grössere Stärkung als ruhiger Schlaf bei leerem Magen. Pferde restaurieren stehend ihre erschöpfte Kraft; reichliche Nahrung dient ihnen besser als gepolsterte Kissen.

Die Cetaceen setzen ihre Schwimmbewegungen auch während des Schlafes fort, und die Zugvögel mögen zum Teil instinktiv, wie die Nachtwandler, ihren Weg verfolgen. An jeder Stelle im weiten Ocean lassen sich Vögel (namentlich Schwalben) blicken; diese Tiere legen eine Strecke von tausend und aber tausend Meilen*) in ununterbrochenem Fluge zurück.

Erschöpfung tritt ein, wenn bei fortgesetztem Ver-

---

*) Man darf sich nicht vorstellen, als ob die Vögel in offener See einen bestimmten Kurs einhielten, wie die Delphinenscharen und die Schiffe, welche den nächsten Weg suchen. Diese Vögel durchkreuzen vielmehr zur See wie auf dem Festlande in jeder Richtung die Luft.

brauche kein angemessener Wiederersatz stattfindet, oder wenn der chemische Prozess durch zu grosse Anstrengung über das phisiologische Mass gesteigert wird; hier haben wir also stets ein absolutes oder relatives Uebermass produzierter mechanischer Effekte.

Indessen können auch Anstrengungen, mit denen keine mechanischen Leistungen verknüpft sind, Ermüdung herbeiführen, und es steht diese mit dem chemischen Prozesse oder mit dem Blute in keiner Beziehung.

Die Anstrengung darf nicht verwechselt werden mit der Leistung. Zu einer Leistung ist durchaus erforderlich, dass die eigene oder eine fremde Last wirklich in die Höhe gehoben oder fortbewegt werde; die Grösse der Leistung wird gemessen durch diese Last, multipliziert mit der Höhe, oder [der bewegten Masse] mit dem [halben] Quadrate der Geschwindigkeit. Die Leistung eines Mannes, der mit grosser Anstrengung ein Gewicht frei hält, oder stundenlang unbeweglich gerade steht u. s. w., ist = Null; ein gleiches, ja noch viel mehr, kann auch eine hölzerne Figur vollbringen*).

Die Ermüdung scheint hier von dem anhaltenden Druck auf die Nervenverzweigungen herzurühren; die damit verbundene Sensation ist dem sogenannten Einschlafen eines Gliedes nicht unähnlich. Die Arbeiter *Coulombs* weigerten sich, einen Tag lang unbelastet Treppen auf- und abzu-

---

*) In Beziehung auf die Quantität einer mechanischen Leistung ist man leicht grosser Täuschung unterworfen. Diesen Umstand wissen die Jongleurs zu benutzen und sich durch Gewandtheit den Anschein grosser Kraftentwickelung zu geben. Auch bei der Betrachtung krankhafter Zustände kann man leicht durch das Schreckenerregende etc. irregeleitet, auf grosse mechanische Leistung da schliessen, wo nur ein geringer, oder gar kein Effekt produziert wird. Die Kraftentwickelung ist während furibunder Delirien gewiss nie so bedeutend, als bei einer angestrengten physiologischen Thätigkeit. Der Gesamteffekt, den der Epileptische während des Anfalles produziert, kann nur sehr gering sein. Die Leistung der Kaumuskeln im Trismus ist = Null; ebenso die Leistung der Gesamtmuskulatur in der Totenstarre.

steigen. Diesem psychischen Akte, den man unter den Begriff „Gewissen“ subsumieren kann, steht eine Verrichtung der Nerven zur Seite; sie mahnen das Individuum, von zweckwidrigen Unternehmungen abzustehen. Um ein Gewicht freischwebend zu erhalten, dazu ist weder der Tierorganismus, noch die Dampfmaschine das passende Instrument; die besten Dienste leistet hier ein hänfener Strick. *Suum cuique.*

Die schmerzhafte Ermüdung, welche ohne erhebliche Produktion mechanischer Effekte eintritt, unterscheidet sich, soweit man ausschliesslich physiologische Verhältnisse im Auge hat, von der durch Stoffverbrauch bedingten Erschöpfung in zwei Hauptpunkten. Da die Primitivnervenfasern unter sich nicht anastomosieren, so bleibt die nervöse Ermüdung auch in ihren höchsten Graden stets lokal, sie beschränkt sich ohne Ausnahme auf die wirklich in Anspruch genommenen Muskelgruppen. Die Erschöpfung dagegen, wenn sie nicht durch ein nur momentanes Uebermass der Leistung schnell vorübergehend erzeugt wurde, verbreitet sich gleichförmig über das ganze Muskelsystem. Der Arm, der von einer anhaltenden Extension ermattet niedersinkt, vermag unmittelbar darauf sich kräftig zu beugen; den ruhenden Arm der entgegengesetzten Seite befällt die Ermüdung nicht; dagegen sind nach einer anstrengenden Fusstour die Arme so wenig als die Füsse zu weiteren Leistungen aufgelegt. Da ferner bei der Anstrengung ohne Leistung kein Verbrauch zu mechanischen Zwecken stattfindet, so schliesst die Ermüdung *sine materie* auch in ihren höheren Graden die Leistungsfähigkeit keineswegs aus; es besteigt der Gelehrte, welcher gegen die Regeln der Diätetik den Tag über an dem Pulte sich müde gestanden, am Abend zu seiner Erholung noch einen nahegelegenen Berg. Die Erschöpfung dagegen, ein Vorgang *cum materie*, hebt jede Leistungsfähigkeit auf; zur Wiederherstellung der letzteren bedarf es der Zufuhr geeigneter Stoffe. Der Hunger, welcher infolge der Arbeit eintritt, hängt von der Grösse des produzierten mechanischen

Effektes, und nicht von dem Grade der Anstrengung an und für sich ab, und dem entsprechend ist auch der Sauerstoffverbrauch nur bei wirklicher Leistung gesteigert*).

Ausser dem Blut und den Nerven kommen bei der Ermüdung auch noch die Kohäsionsverhältnisse der muskulösen und fibrösen Teile in Betracht. Durch zu grosse Belastung, Zerrung der Faser, werden die motorischen Apparate in ihrer Thätigkeit gestört, und es wird dadurch eine besondere Art von Ermüdung herbeigeführt, die sich nicht in kurzer Frist, nicht durch Ruhe, noch durch Stoffzufuhr, beseitigen lässt, sich vielmehr gerade während der Ruhezeit mehr und mehr entwickelt, und, dem coxalgischen Schmerze gleich, durch Bewegung sich wieder vermindert. In diese Kategorie gehört der spannende Schmerz, den man in dem *musculus rectus femoris* etc. empfindet, wenn man tags zuvor von einer steilen Anhöhe rasch herabgestiegen ist. In den höheren und höchsten Graden stellt die Zerrung der Faser chirurgische Krankheitsformen, das Verziehen, Verstauchen, Verrenken dar.

Die verschiedenen Momente nun, die der Thätigkeit gesunder Bewegungsapparate hemmend in den Weg zu treten vermögen, kombinieren sich in den Einzelfällen auf eine wechselvolle Weise. Hier wie in jedem physiologischen und pathologischen Prozesse, spielt Organologisches und Chemisches, Solidares und Humorales, Nerv und Blut gleichzeitig seine Rolle, und es mögen die Lebenserscheinungen einer wundervollen Musik verglichen werden, voll herrlicher Wohlklänge und ergreifender Dissonanzen; nur in dem Zusammenwirken aller Instrumente liegt die Harmonie, in der Harmonie nur liegt das Leben.

---

* Während einer grossen Anstrengung pflegt man den Atem anzuhalten, um aus dem Brustkorbe eine feste Stütze für die Bewegungsorgane sich zu schaffen; hieran knüpft sich jedoch noch nicht notwendig ein vermehrter Verbrauch. Beim Holzspalten, Treppensteigen u. dgl. m., wird niemand den Atem an sich zu halten bemüht sein.

Anmerkungen des Herausgebers.

1. In Aufzeichnungen aus den sechziger Jahren bemerkt *Mayer:* „Was schon den Titel meiner 1845 erschienenen Schrift anlangt, so gestehe ich jetzt offen, dass mir derselbe nicht mehr gut gewählt erscheint; dagegen glaube ich an der von mir gewählten Terminologie aus den in der Einleitung kurz angegebenen Gründen trotz der mir von kompetenter Seite gemachten Einwendungen noch jetzt festhalten zu müssen.“ Er verweist dann auf die eingehendere Motivierung im folgenden Aufsatze IV. Siehe S. 250.

2. Eine weitere Ausführung dieser Gedanken findet sich z. B. in dem Briefe an *Griesinger* vom 20. Juli 1844, „Kleinere Schriften und Briefe“, VII 13.

3. Nichts entsteht aus Nichts (wenn selbst die Götter es wollten) ist das erste Axiom in *Lucrez'* Darstellung der Lehren *Epicurs*; auch die entgegengesetzte Behauptung, Nichts wird zu Nichts, ist dort ausgesprochen (*I. Lucretius Carus*, De rerum natura I, 149, 215; vergl. Anmerkung 3 zu Aufsatz X).

Büchmann (Geflügelte Worte, Berlin 1889, S. 288) bemerkt zu jenem Satze: *Lucretius* hatte seine Ansicht aus *Epicur* entlehnt, welcher (nach *Diogenes Laërtius* 10, n. 24, 38) an die Spitze seiner Physik den Grundsatz stellte: „οὐδὲν γίνεται ἐκ τοῦ μὴ ὄντος“, Nichts wird aus dem Nichtsseienden. Vor *Epicur* hatte schon *Melissus* gesagt, dass aus Nichtsseiendem Nichts werden kann (*Ueberweg*, Geschichte der Philosophie des Alterthums, I S. 63), wie auch *Empedokles* die Ansicht bekämpft, dass Etwas, was vorher nicht war, entstehen könne (ebenda 1, S. 66). In *Marc Aurels* (121—180 n. Chr.) „Selbstbetrachtungen“ 4, 4 heisst es: „Denn von Nichts kommt Nichts, so wenig als Etwas in Nichts übergeht.“

4. Von vornherein sei bemerkt, dass *Mayer* (schon in der ersten Auflage der „Organischen Bewegung“ von 1845) das Pfund gleich 500 Gramm rechnet und unter „Fuss“ den Pariser Fuss von 0,32484 m versteht. Vergl. oben S. 56, 79.

5. Da „Fallkraft“ und „Bewegung“ gleichwertig sein sollen, so ist letztere durch das halbe Produkt von Masse und Quadrat der Geschwindigkeit zu messen. Die Aenderungen, welche hierdurch und durch die mitunter vorkommende Verwechselung von Masse und Gewicht nötig werden, sind in eckigen Klammern beigefügt.

6. Die erste der hier gegebenen Formeln, welche erstmals in einem Briefe an *Baur* vom 30. November 1844 vorkommt („Kleinere Schriften und Briefe“, VI 19), hat rechts einen konstanten Faktor zu er-

halten, wenn sie bei beliebigen Masseinheiten gelten soll, während in der zweiten rechts $2P$ an Stelle von A zu setzen ist, unter P das Gewicht der Masse A verstanden. Man sehe die Ableitung in Anmerkung 15 zu Aufsatz III.

7. Vergl. Anhang B zu Aufsatz IV.

8. Den Ausdruck „verwandeln“ hatte *Mayer* wiederholt gegen *Griesinger* zu verteidigen. Man sehe die Briefe vom 22. Juni und 20. Juli 1844, „Kleinere Schriften und Briefe“, VII 10, 13. In dem folgenden Aufsatze IV heisst es: „Etwas andres als eine konstante numerische Beziehung soll und kann hier das Wort „Umwandeln“ nicht ausdrücken.“ Siehe S. 265.

9. Dies sprach *Mayer* schon in einem Briefe an *Griesinger* vom 5. und 6. Dezember 1842 aus. „Kleinere Schriften und Briefe“, VII 3.

10. *Gay-Lussac*, Premier essai pour déterminer les variations de température qu'éprouvent les gaz en changement de densité, et considération sur leur capacité pour le calorique. Mémoires de Physique et de Chimie de la société d'Arcueil, I 1807, p. 180—204. Uebersetzung in *Gehlers* Journal für Chemie, Physik und Mineralogie, VI 1808, S. 392; Referat in *Gilberts* Annalen der Physik, XXX 1808, S. 249. Vergl. den Brief an *Baur* vom 12. September 1841, „Kleinere Schriften und Briefe“, VI 7.

11. So z. B. *Joule*, On the changes of temperature produced by the rarefaction and condensation of air, Philosophical Magazine, XXV 1844 und XXVI 1845.

12. „Ein Grad Wärme“ ist hier, wie bei *Mayer* mehrfach, die Wärmemenge zur Erhöhung der Temperatur von 1 Gramm Wasser unter dem Drucke einer Atmosphäre von 0 auf 1^0 C, das heisst auch:

1 Grad Wärme gleich $\frac{1}{1000}$ der gewöhnlichen Wärmeeinheit oder Kalorie. Eine etwas allgemeinere Auffassung siehe Aufsatz III, Kap. 2 und Anmerkung 3.

13. Die auf S. 55 gegebene Gleichung $y = Ph$ lautet mit den von *Mayer* angeführten Zahlen

$$0{,}000103^0 \text{ Wärme} = 1033 \text{ Gramm} \times \frac{1}{274} \text{ Centimeter},$$

woraus folgt:

$$1^0 \text{ Wärme} = \frac{1033}{274 \,.\, 0000103} = 36603 \text{ cmg} = 366 \text{ mg}$$

und durch Multiplikation mit 1000:

$$1 \text{ Kalorie} = 366{,}03 \text{ mk.}$$

Wählt man jedoch anstatt 0,000103 den *Mayers* vorausgegangenen Angaben etwas genauer entsprechenden Wert 0,000102835, so folgt

$$1 \text{ Kalorie} = 366{,}61 \text{ mk.}$$

14. Diese Anmerkung ist erst der zweiten Auflage dieses Werkes,

vom Jahre 1874, beigefügt. (Vergl. vorn das Vorwort zu derselben. Siehe auch die Anmerkungen 2 und 30 zu Aufsatz IV.)

15. Annales de Chimie et de Physique, 1829 XLI, p. 113; *Poggendorffs* Annalen, 1829 XVI, S. 433.

16. Vergl. *Mayers* Mitteilung an die Münchener Akademie, „Ueber die Bestimmung des Nutzeffekts verschiedener Motore", „Kleinere Schriften und Briefe", XIV 1.

17. Die Ableitung ist in der Anmerkung 15 zu Aufsatz III gegeben (siehe Formel 18); ebenso die der folgenden Beziehungen.

18. *Rumford*, An inquiry concerning the source of the heat which is excited by friction. Philosophical Transactions 1798, p. 80—102. Auf Grund dieser Versuche hatte bekanntlich *Rumford* die Stoffnatur der Wärme als widerlegt erachtet und mit den modernen Anschauungen im wesentlichen übereinstimmende Ansichten über ihre Bewegungsnatur ausgesprochen.

19. *Leibnitz*, Brevis demonstratio erroris *Cartesii* etc. Acta eruditorum, Lipsiae 1686. Wie *Mayer* selbst sich die Erkenntniss verschaffte, dass die lebendige Kraft für seine Aequivalenzbetrachtungen massgebend sei, zeigt der Brief an *Baur* vom 17. Juli 1842, „Kleinere Schriften und Briefe", VI 8.

20. Vergl. Aufsatz III Kap. 4.

21. Am 17. Juli 1842 schrieb *Mayer* an *Baur:* „Nach dem jetzigen Stande der Erfahrung können in der leblosen Natur nur fünf Kräfte als objektiv betrachtet werden; diese sind Fallkraft, Bewegung, Wärme, Elektrizität und chemische Differenz der Materie." „Kleinere Schriften und Briefe", VI 8.

22. *Théodore de Saussure,* Recherches chimiques sur la végétation, Paris 1804 (Deutsch von *Voigt,* Leipzig 1805).

23. *Liebig*, Der Lebensprozess im Tiere und die Atmosphäre, Annalen d. Chemie u. Pharmacie, XLI 1842, S. 189—219; Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie, Braunschweig 1842; Ueber die tierische Wärme, Annalen d. Chemie u. Pharmacie, LIII 1845, S. 63. Die Versuche von *Dulong* und *Despretz* sind besonders im letzteren Aufsatze besprochen.

24. In einem Briefe an *Griesinger* vom 14. Juni 1844 bemerkt *Mayer* hierzu: „Eine Abnutzung, ein Stoffwechsel der Organe selbst wird damit nicht geleugnet, ist aber eine Sache für sich und steht mit der besprochenen Blutveränderung quantitativ in äusserst untergeordnetem Verhältnis; auch bei der Dampfmaschine findet täglich und stündlich Abnutzung statt; die zur Reparatur nötigen Stoffe darf man aber nicht mit dem Kohlenaufwande verwechseln." „Kleinere Schriften und Briefe", VII 8. Vergl. auch Aufsatz X.

25. Wiederholt sei darauf hingewiesen, dass „ein Grad Wärme" bei *Mayer* gewöhnlich ein Tausendstel Kalorie bedeutet (Anmerkung 12).

Da *Mayer* nun die Kalorie gleich 425 Meterkilogramm setzt, so ist 1^0 Wärme = 0,425 mk Arbeit. Vergl. S. 59.

26. Hier war in der ersten Ausgabe der „Organischen Bewegung“ von 1845 folgende Polemik gegen *Liebig* eingeschaltet, welche in der „Mechanik der Wärme“ weggeblieben ist.

Zu einem entgegengesetzten Resultate gelangt *Liebig* in seinem berühmten Werke: Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie, Braunschweig 1842, und müssen wir aus diesem Grunde die hierher gehörigen Theorien *Liebigs* näher ins Auge fassen.

Liebig geht bei seiner Lehre: „Die Bewegungserscheinungen im Tierorganismus“ von einer Lebenskraft aus, welche im Zustande der Ruhe einer chemischen Kraft, der Affinität des Sauerstoffs zu den tierischen Gebilden, das Gleichgewicht hält. Zur Aufhebung mechanischer Widerstände, zur Hervorbringung von Bewegungen wird Lebenskraft aufgewendet, die chemische Kraft erhält dadurch das Uebergewicht, und der seiner Lebenskraft beraubte Teil der organisierten Materie wird von dem atmosphärischen Sauerstoffe verzehrt. Schluss: Die Produktion mechanischer Effekte ist mit einem vermehrten Stoffwechsel verbunden.

Wenn wir diesen Schluss, der eine wohl den ersten Menschen schon bekannte Thatsache: das vermehrte Nahrungsbedürfnis bei vermehrter Arbeit, ausspricht, als unbezweifelt richtig anerkennen, so müssen wir dagegen die Prämissen verwerfen, und zwar aus folgenden Gründen:

Offenbar verdankt der ganze Abschnitt „die Bewegungserscheinungen im Tierorganismus“ sein Dasein einer logischen Inkonsequenz, einem jener inneren Widersprüche, die sich nicht selten in den Schriften des geistreichen Chemikers finden. So lesen wir S. 33 a. a. O.:

> „Es ist nun schlechterdings unmöglich, dass eine gegebene Menge Kohlenstoff oder Wasserstoff, welche verschiedene Formen sie auch im Laufe der Verbrennung annehmen mögen, mehr Wärme hervorzubringen fähig ist, als wie sie liefert, wenn sie im Sauerstoffgas oder in der Luft direkt verbrannt wird.
>
> Wenn wir Feuer unter eine Dampfmaschine machen und die erhaltene Kraft benutzen, um durch Reibung Wärme hervorzubringen, so kann diese in keiner Weise jemals grösser sein, als die Wärme, die wir nötig gehabt haben, um den Dampfkessel zu heizen, und wenn wir in einer galvanischen Säule den Strom zur Hervorbringung von Wärme benutzen, so ist diese unter allen Umständen nicht grösser, als wir sie haben können durch die Verbrennung des Zinks, was sich in der Säure auflöst.
>
> Die Kontraktion der Muskeln erzeugt Wärme, die hierzu nötige Kraft äussert sich durch die Organe der Bewegung, die sie durch

den Stoffwechsel empfangen. Die letzte Ursache der erzeugten Wärme kann natürlich nur dieser Stoffwechsel sein."

Wenn unser Autor sagt: die letzte Ursache der durch Muskelkontraktion erzeugten Wärme kann nur ein Stoffwechsel sein, so heisst dieses: die Ursache der Wärme ist die Muskelkontraktion, die Ursache der Muskelkontraktion ist ein Stoffwechsel.

Wort für Wort mit dem Citate einverstanden, haben wir nur zu bedauern, dass *Liebig*, statt auf diesem Wege fortzuschreiten, den Leser in eine Sandwüste von Hypothesen führt, wo keine Oase grünt. Im offnen Widerspruche mit der angeführten Stelle spricht *Liebig* den leitenden Gedanken seiner Bewegungserscheinungen S. 225 a. a. O. dahin aus:

„Aus diesem ganz bestimmten Zusammenhange des Stoffwechsels im Tierkörper mit der durch mechanische Bewegungen verzehrten Kraft kann kein andrer Schluss gezogen werden, als dass die in gewissen, belebten Körperteilen aktive oder verwendbare Lebenskraft die Ursache ist der mechanischen Effekte des Tierkörpers.

Die bewegende Kraft stammt zweifellos von belebten Körperteilen, sie besassen ein Kraft- oder Bewegungsmoment, was sie in eben dem Grade verloren, als andre ein Kraft- oder Bewegungsmoment empfangen haben; sie verlieren ihre Fähigkeit der Zunahme an Masse, ihr Vermögen, Widerstand gegen äussere Ursache von Störungen zu leisten; es ist klar, die letzte Ursache, die Lebenskraft, von denen sie diese Eigenschaften erhielten, sie hat zur Hervorbringung der mechanischen Kraft gedient, sie ist als Bewegung verzehrt worden."

Der Stoffwechsel, welcher zuerst für die Ursache der Muskelleistung erklärt wurde, wird hier zu ihrer Folge gemacht. Zuerst treibt, um mit einem Beispiele *Liebigs* zu reden, der Fluss die Mühle, und nachher die Mühle den Fluss.

Eine specifische Widerstandsfähigkeit lebendiger Gewebe „gegen äussere Ursachen von Störungen", gegen die Einwirkung des atmosphärischen Sauerstoffes, gegen faulige Zersetzung, als Wirkung einer eigentümlichen Lebenskraft im Sinne *Liebigs*, können wir deshalb nicht zugeben, weil wir uns nicht für berechtigt halten, specifische Ursachen hypothetisch einzuführen, wo keine specifischen Wirkungen nachgewiesen sind; mit andern Worten, weil wir nichts denken dürfen ohne Grund.

Liebig führt als Wirkung seiner Lebenskraft eine eigentümliche Widerstandsfähigkeit der lebenden Gewebsteile gegen chemische Aktionen auf. Eine solche Widerstandsfähigkeit kommt in der That u. a. dem geschmolzenen Eisenoxydul zu, das bekanntlich den Einwirkungen der stärksten Säuren widersteht. Der Grund dieses Widerstands liegt vielleicht in der Härte, oder wenn man einen ungenaueren

Ausdruck vorzieht, in der Kohäsionskraft dieser Substanz. Es fragt sich nun, kommt der lebendigen tierischen Faser eine analoge Widerstandsfähigkeit gegen chemische Aktionen zu, wobei an die Stelle der „Kohäsionskraft“ die „Lebenskraft“ zu setzen wäre? Weder *Liebig* noch irgend ein andrer Chemiker hat irgend etwas derartiges nachgewiesen: nirgends erwähnt *Liebig*, zur Unterstützung einer solchen Hypothese, einer einzigen Thatsache.

Liebig räumt zuvörderst, dem Organismus gegenüber, der chemischen Affinität des atmosphärischen Sauerstoffs eine grosse Macht ein, und stempelt so die Luft des Lebens zu der des Todes, erblickt aber in der Lebenskraft den Schutz gegen diese feindliche Einwirkung.

Zur Erklärung der Thatsache, dass der lebende Körper nicht vom Sauerstoff der Atmosphäre verzehrt wird, sind zwei naheliegende vollwichtige Gründe vorhanden.“

Eine Erwiderung *Liebigs* auf diese und die sich anschliessenden Angriffe ist nicht bekannt geworden. Es steht aber auch nicht fest, ob er davon in den nächsten Jahren Kenntnis erhielt, da die „Organische Biegung“ anfangs wenig beachtet wurde. Zwar war ihm *Mayers* Aufsatz im Manuscript zugegangen, doch kam er nach wenigen Tagen zurück und es können dann noch Aenderungen vorgenommen worden sein. *Liebig*, der nicht leicht jemand etwas schuldig blieb, führt die „Lebenskraft“ noch in der dritten Auflage seiner „Organischen Chemie etc.“ 1847 vor, ohne *Mayer* zu erwähnen. Man sehe auch im folgenden nnter „Robert Mayer“ 34.

Mayer war zu einer scharfen Polemik gegen *Liebig* besonders durch *Griesinger* veranlasst worden. Ueber die Weglassung derselben aus der „Mechanik der Wärme“ schrieb er am 20. August 1867 an *Schaaffhausen*: „Bei dieser Gelegenheit möchte ich auch die Leistungen *Liebigs* anbelangend bemerken, dass derselbe die Ansichten, welche er versuchsweise — der Aufstellung des Phlogistons vergleichbar — 1842 über die „Lebenskraft“ veröffentlichte, soviel mir bekannt, längst hat fallen gelassen, weshalb ich auch die in meiner Schrift vom Jahre 1845 dagegen erhobene Polemik neuerdings nicht mehr habe abdrucken lassen.“ Vergl. „Kleinere Schriften und Briefe“, VII 9—11, XXI 2.

27. Hier war in der ersten Ausgabe von 1845 folgendes eingefügt.

Den Sitz seiner Lebenskraft verlegt *Liebig* ausschliesslich in die festen Theile des Organismus. Er sagt S. 202:

„Die Aeusserungen der Lebenskraft sind abhängig von einer gewissen Form ihrer Träger und einer bestimmten Zusammensetzung der Substanz des lebendigen Körperteils.

Die Fähigkeit der Zunahme an Masse in einem belebten Körperteil wird bedingt durch die unmittelbare Berührung mit Stoffen, die sich zu einer Zersetzung eignen, oder deren Elementarteile

zu Bestandteilen des Trägers der Lebensthätigkeit übergehen können."

Nach *Liebig* kann also von einer Lebenskraft formloser oder flüssiger Teile keine Rede sein. Seite vorher sagt *Liebig*:

„Als Widerstand gibt sich die Lebenskraft in belebten Körperteilen zu erkennen, insofern durch sie, durch ihr Vorhandensein in ihren Trägern, die Elemente derselben das Vermögen erlangen, Störungen und Aenderungen in ihrer Form und Zusammensetzung durch äussere Thätigkeiten zu widerstehen, eine Fähigkeit, die sie für sich als chemische Verbindungen nicht besitzen."

Nun ist es eine allbekannte Thatsache, dass Flüssigkeiten, welche an und für sich zur Selbstentmischung wohl geneigt sind, im Innern des lebenden Körpers lange Zeit unzersetzt verweilen können; es fragt sich also: ist die Widerstandsfähigkeit flüssiger organischer Materien, vom chemischen Standpunkte aus betrachtet, durchgehends viel grösser als die der festen Teile? *Liebig* muss dies angenommen haben, da er sich veranlasst gesehen hat, den festen Teilen unter dem Namen der Lebenskraft einen besondern Succurs gegen chemische Aktionen zuzusenden, dessen die Flüssigkeiten entbehren. Oder, wenn *Liebig* von der Annahme einer solchen misslichen Hypothese abstrahieren will, wodurch erklärt er, dass Flüssigkeiten ihre Existenz gegen chemische Affinitäten ohne Lebenskraft aufrecht zu erhalten vermögend sind? Sollen wir an eine mystische, transcendente Emanation der Lebenskraft, an eine Ausbreitung derselben von den festen Teilen auf die eingeschlossenen Säfte, glauben?"

Von dieser Auseinandersetzung enthält die „Mechanik der Wärme" nur den auf „Hic Rhodus, hic salta!" folgenden Satz.

28. An Stelle dieses Absatzes enthält die erste Ausgabe der „Organischen Bewegung" von 1845 folgende weiteren Ausführungen.

„Da wir in einem chemischen Prozesse, in dem Stoffwechsel, einen vollwichtigen Grund von dem Fortbestande lebender Organismen erblicken, so müssen wir gegen die Aufstellung einer Lebenskraft im Sinne *Liebigs*, *Autenrieths*, *Hunters* u. s. w. Protest erheben. Was aber die Hypothese *Liebigs* von der Verwendung einer Lebenskraft zu mechanischen Effekten betrifft, so erscheint dieselbe noch gewagter, als die Statuierung einer solchen vis occulta an und für sich allein. — *Liebig* sagt a. a. O. S. 248:

„So eng miteinander verknüpft nun auch die Bedingungen der Wärme- und Krafterzeugung zu mechanischen Effekten sich der Beobachtung darstellen mögen, so kann die Wärmeentwickelung für sich allein in keiner Weise als die Ursache der mechanischen Effekte angesehen werden.

Alle Erfahrungen beweisen, dass es im Organismus nur eine

Quelle von mechanischer Kraft gibt, und diese Quelle ist der Uebergang belebter Körperteile in leblose Verbindungen.“

Die Ursache des Verbrauchs ist die chemische Aktion des Sauerstoffs, ihre Aeusserung ist abhängig von einer Entziehung von Wärme, sowie von der Verwendung der Lebenskraft zu mechanischen Effekten.

Der Akt des Verbrauchs heisst Stoffwechsel, er tritt ein infolge der Aufnahme von Sauerstoff in die Substanz belebter Körperteile; diese Aufnahme von Sauerstoff findet nur dann statt, wenn der Widerstand, welchen die Lebenskraft belebter Körperteile der chemischen Aktion des Sauerstoffs entgegensetzt, kleiner ist als diese chemische Aktion selbst, und dieser schwächere Widerstand wird bedingt durch Entziehung von Wärme oder durch Verwendung der in den Körperteilen thätigen Kraft zu mechanischen Bewegungen.“

Wenn *Liebig* nicht in Abrede zieht, dass durch Verwendung von Wärme ein mechanischer Effekt erzeugt werden kann, so tritt nach diesem Schriftsteller die Lebenskraft bei der organischen Erzeugung der Bewegung an die Stelle der Wärme. Die Wärme, welche in der Dampfmaschine verwendet wird, um eine Million Pfunde einen Fuss hoch zu heben, muss *äquivalent* sein der zu gleicher Leistung von einem Menschen, einem Pferde etc. verbrauchten Lebenskraft, die wiederum ihrerseits ein *Aequivalent* für die von dem Tiere erzeugte Reibungswärme darstellt. (Vergl. *Liebig* a. a. O. S. 33.) Die Ursache des mechanischen Effektes ist in der Dampfmaschine der Verbrennungsprozess, im Tierkörper aber die Lebenskraft, *id est* die Widerstandsfähigkeit lebendiger Körperteile gegen chemische Aktionen, woraus notwendig folgt, dass diese Widerstandsfähigheit *äquivalent* sei dem Verbrennungsprozesse. Es gibt nun in der That Materien, wie der Gadolinit, das Chromoxydul, Eisenoxyd, die Zirkonerde, antimonsaures Kupferoxyd und Zinkoxyd u. a. m., welche eine Aenderung ihrer Widerstandsfähigkeit gegen chemische Aktionen erleiden können, und es ist dieser Prozess in der That als das *Aequivalent* einer Verbrennung, mit einer Kraft- oder Wärmeentwickelung verbunden. Diese Materien aber, indem sie Wärme entbinden, erwerben insgesamt eine Widerstandsfähigkeit gegen chemische Aktionen, während nach *Liebig* die belebten Körperteile durch Kraftentwickelung ihre Widerstandsfähigkeit verlieren sollen; so lange also keine Stoffe aufgefunden sind, die im Gegensatze zum Gadolinit etc. unter Entwickelung von Wärme oder mechanischem Effekt an Widerstandsfähigkeit verlieren, so lange hat auch *Liebigs* Hypothese von einer Verwendung der Lebenskraft zu mechanischen Effekten jedenfalls die Analogie ganz gegen sich.

Aber auch aus einem andern Grunde, als aus dem der Analogie, ist der Kausalzusammenhang von Lebenskraft und mechanischem Effekt für unstatthaft zu erklären. Wie eine Wirkung nicht von selbst entsteht, so vergeht auch keine Ursache ohne entsprechende Wirkung. Die binäre Verbindung von Kohle und Sauerstoff kann nicht erfolgen, der Gadolinit etc. jene Widerstandsfähigkeit nicht erwerben, ohne eine entsprechende Entwickelung von Wärme (oder einer äquivalenten Kraft). *Liebig* sagt a. a. O. S. 249: „Die Summe der zu mechanischen Effekten verwendbaren Kraft muss gleich sein der Summe von Lebenskraft aller zum Stoffwechsel geeigneten Gebilde.“ Welche Wirkung äussert nun diese Kraft nach eingetretenem Tode? Nach *Liebigs* Theorie müsste die Leiche des Enthaupteten vor Eintritt der Fäulnis eine grosse Summe mechanischer Effekte, oder eine entsprechende Wärmemenge produzieren; die Erfahrung bestätigt aber hierin nichts (Fussnote *Mayers*: „Frage: Was wird aus der Lebenskraft nach dem Tode? Antwort: Nichts. Schluss: Also ist die Lebenskraft = Nichts. — *Nil fit ad nihilum.* Eine Kraft oder Ursache, die ohne eine Wirkung zu äussern vergehen kann, ist keine Kraft“).

Hätte *Liebig* bei Abfassung seiner „Bewegungserscheinungen im Tierorganismus“ ein richtiges Mass des Untersuchungsobjektes, der Leistung oder des mechanischen Effektes, vor Augen gehabt, so wäre ohne Zweifel jene ganze Lehre in einer andern Gestaltung an das Licht getreten. Nach *Liebig*, am Eingang des Abschnittes, S. 206, ist die Wirkung der bewegenden Kraft = Kraftmoment = dem Produkte aus der Masse in die Geschwindigkeit = Bewegungsgrösse; dagegen ist das Bewegungsmoment = dem Produkte aus der Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit = der lebendigen Kraft der Bewegung = dem mechanischen Effekt. Diese zwei ganz heterogenen Grössen, das Produkt der Masse in die Geschwindigkeit und das in das Quadrat der Geschwindigkeit, sein Kraftmoment und sein Bewegungsmoment stellt *Liebig* sogleich, S. 207, friedlich zusammen, ja er gebraucht diese Ausdrücke später (S. 253) sogar synonym (!), führt aber unter dieser Benennung Dinge auf, welche nach der gegebenen Definition weder Kraftmomente noch Bewegungsmomente sind. Statt die Grösse der mechanischen Leistung in der Art zu geben, wie sie schon von *Daniel Bernoulli* richtig bezeichnet wurde, bringt *Liebig* die ökonomische Bestimmung einer speziellen Leistung nach *Coulomb*, die gar nicht dorthin gehört. Bei dieser Ungenauigkeit sind wir ausser stand gesetzt, an die S. 253—256 gegebenen Ziffern einen klaren Begriff zu knüpfen.

Den Schlaf stempelt *Liebig* zu einem wichtigen vegetativen Akte, die Nerven kennt er als die Leiter und Verbreiter mechanischer Effekte (Fussnote: „Während des Schlafes wird nach *Liebig* die zu mechanischen Effekten verbrauchte Lebenskraft restituiert. Das ein-

schlafende Herz kann keine Kraft produzieren; ihm muss die Kraft durch die Nerven, wie durch Leitungsdrähte, zugeführt werden. Die Leistung des Herzens müsste hiernach von der Integrität der Nerven viel abhängiger sein, als die der periodisch schlafenden willkürlichen Muskeln; ferner müsste die Herzaktion während angestrengter Arbeit, insbesondere bei schwächlichen Individuen, sich bedeutend vermindern, und in der Ruhe wäre ein Grund zu vermehrter Herzthätigkeit vorhanden. Die Beobachtung lehrt von dem allem das Gegenteil"), und zwar mit zweifelloser Gewissheit (!) (S. 224) und gelangt endlich in seiner Theorie der Krankheit zu dem Resultate, dass im Fieber die Erzeugung von Kraft (von mechanischem Effekt + Wärme) v e r m e h r t sei."

29. *Liebigs* „Theorie der Krankheit" findet sich in seiner „Organischen Chemie etc. 1842" S. 260—272.

30. Siehe den letzten Aufsatz dieses Werkes, „Ueber Auslösung", und schon den Brief an *Griesinger* vom 20. Juli 1844, „Kleinere Schriften und Briefe", VII 13.

31. Die Worte „welches durch selbige paralisiert wird" sind erst in der „Mechanik der Wärme" hinzugekommen.

32. Vergl. im folgenden Aufsatz IV sowie den Brief an *Griesinger* vom 14. Juni 1844, „Kleinere Schriften und Briefe", VII 8.

33. Nach „vermindern" war in der ersten Ausgabe von 1845 auf folgende Fussnote verwiesen: „Verminderung des Nahrungsbedürfnisses konnte ich gleichwohl nicht wahrnehmen, was sich aber aus einem zufälligen Umstande erklären mag. Es herrschte nämlich von Anfang bis zu Ende der schändlichste Geiz auf dem Schiffe *Java*, Kapitän *Zeemann*, Reeder *N. J. de Cok* in Rotterdam. Nach langer Hungerkur konnte der Organismus die Gelegenheit zu einem Wiederersatze seiner geschwundenen Vorräte nicht unbenutzt vorübergehen lassen."

34. Hier war in der ersten Ausgabe von 1845 beigefügt: „— ein neuerer Dichter aber sagt:

Von der Stirne heiss
Rinnen muss der Schweiss."

16.

Mayer sandte den im vorhergehenden abgedruckten Aufsatz am 3. Januar 1845 an *Liebig* für die Annalen der Chemie und Pharmacie, in welchen seine erste Abhandlung erschienen war; er erhielt von dem damaligen Assistenten *Liebigs*, nachmaligen (1892 verstorbenen) Professor der Chemie an der Berliner Universität, *August Wilhelm Hofmann*, umgehend folgende Antwort:

„Sr. Wohlgeboren Herrn Dr. *Mayer* in Heilbronn.

Im Auftrage des Herrn Professor *Liebig*, der im Drange seiner Geschäfte nicht Zeit finden konnte, Ihnen eigenhändig zu antworten, habe ich die Ehre, auf Ihr Schreiben vom 3. Januar 1845 zu erwidern. Herr Professor *Liebig* bedauert, dass bei der grossen Anzahl von chemischen Arbeiten, welche zum Abdruck bereit liegen, in der ersten Zeit sich kein Raum mehr für den Aufsatz, welchen Sie die Güte hatten, einzusenden, in den Annalen vorfindet. Er hat mir aufgetragen, Ihnen den besagten Aufsatz, welcher aus dem eigentlichen Gebiete des Journals heraustritt, zurückzusenden. Da derselbe mehr physikalischen Inhalts, so dürfte er eine geeignete Stelle in Poggendorffs Annalen finden.

Mein Herr, ich habe die Ehre zu sein

Euer Wohlgeboren ganz ergebenster Diener

Giessen den 6. Januar 1845

Dr. *A. W. Hofmann,*

Assistent am chemischen Laboratorium.“

Da indessen das im Jahre 1841 an Poggendorffs Annalen gesandte Manuskript der ersten Arbeit *Mayers* weder

abgedruckt noch zurückgesandt worden war, so ist begreiflich, dass er der Andeutung am Schlusse dieses Briefes keine entsprechende Folge gab. In Aufzeichnungen aus den sechziger Jahren bemerkt *Mayer*, ohne die Ablehnung durch *Liebig* zu erwähnen:

„Im darauffolgenden Jahre [1844] erlebte ich wieder, aber diesmal nur allzu kurze Vaterfreuden an einem Söhnchen, das mir im Jahre 1845 am Hydrocephalus acutus wieder entrissen werden sollte. Zu dieser Zeit war ich schon stark durch Privatpraxis in Anspruch genommen und dabei eifrig mit Ausarbeitung einer iatromechanischen Abhandlung, der „organischen Bewegung“ beschäftigt. Unerfahren in Buchhändlergeschäften übergab ich das Manuskript dem nächsten besten Buchhändler, wobei ich die Druckkosten auf eigene Rechnung nahm. Die ganze Korrektur hatte ich allein zu besorgen, und so mochte vieles zusammengewirkt haben, um dem Schriftchen, wie ich bald selbst gefunden habe, den Stempel der Unvollkommenheit aufzudrücken, was ich aber insolange zu bedauern keine Gelegenheit hatte, als meine übrigens in redlichem Eifer verfertigte Arbeit keinerlei Beachtung seitens von Sachverständigen wert erschien.“

Die Arbeit *Mayers* erschien also unter dem auf S. 45 angegebenen Titel um die Mitte 1845 als Broschüre im Verlage der *C. Drechsler*schen Buchhandlung zu Heilbronn.

17.

Am 17. September 1845 schrieb *Griesinger* an *Mayer*: „Ich habe Deine Schrift gelesen unter anhaltendem Applaus mit allen vier Extremitäten, finde meine Bedenken gehoben, halte Deine Ansichten für höchst wichtig, glaube aber ebendeswegen, dass nur wenige Leute und zwar nur Physiker im stande sind, ein vernünftiges Wort darüber zu sprechen.“ Demgemäss wollten nach *Griesingers* Angabe auch die Redakteure des Archivs für physiologische Heilkunde (*Wunderlich* und *Roser*) nichts von einer von ihm beabsichtigten Rezension wissen.

Allein die Physiker liessen zunächst nichts von sich hören, die *Mayer*sche Broschüre blieb von dieser Seite lange Zeit unbeachtet. Wohl aber erschien 1845 eine ausführliche Beurteilung des ersten *Mayer*schen Aufsatzes über die Kräfte der unbelebten Natur von dem Professor der Medizin und Chemie

an der Universität Kiel, *Christian Heinrich Pfaff;* sie fiel freilich nicht nach dem Sinne *Mayers* aus [1]). Der Verfasser, ein Anhänger der seither überwundenen *Volta*schen Kontakttheorie der galvanischen Kette hatte bemerkt, dass die Ansicht von *Faraday*, *Mayer* u. a. von der Erschöpfung einer Ursache durch ihre Wirkung dieser Theorie widerspreche und suchte nun zu begründen, dass *Mayer* das wahre Wesen einer echten physischen Kraft verkannt habe, indem er die „primitiven Ursachen, die zu ihrer Thätigkeit keine andre erfordern, die ihnen vorangeht, — die gleichsam aus einem unerschöpflichen Grunde Bewegungen immer wieder neu anfachen und vorhandene unterhalten und beschleunigen können“ (Schwere, Magnetismus etc.), nicht gehörig unterschieden habe von den abgeleiteten Ursachen, wie sie in der nach ihrer Erzeugung allerdings quantitativ unveränderlich bleibenden Bewegung wirken. Die behauptete Gleichheit von Ursache und Wirkung gelte eben nur für diese abgeleiteten Ursachen, während jenen wahren physischen Kräften das Merkmal der Unerschöpfbarkeit zukomme, was dann im einzelnen ausgeführt wird. Obwohl *Pfaff* hierbei fast alle Behauptungen *Mayers* als irrig, seltsam oder willkürlich charakterisiert und auch dem „sonderbaren Schlusse“ *Mayers*, dass, wie Wärme Bewegung, umgekehrt wieder Bewegung Wärme hervorbringen könne, entgegentritt, führte ihn doch *Mayer* 1851 in seinen „Bemerkungen über das mechanische Aequivalent der Wärme“ als sehr verdienten Naturforscher ein, dem er sich für die aufmerksame Prüfung seiner ersten Arbeit zu wahrem Danke verpflichtet fühle.

Sodann erschienen in der Neuen medizinisch-chirurgischen Zeitung vom 26. Juni 1846 und in der Allgemeinen medizinischen Centralzeitung vom 28. Juni 1847 günstige Beurteilungen des zweiten *Mayer*schen Aufsatzes, über die organische Bewegung, die jedoch, an der Oberfläche bleibend, den ein kritisches Eindringen Ersehnenden nicht befriedigen konnten. In der ersteren wird hervorgehoben, dass *Mayer* die auf organischem Wege erzeugten Bewegungen nach einer Methode erläutere, „durch welche Physiologie und mathematische Physik einander näher gerückt werden sollen, ohne dabei weder zur

---

[1]) Die hier erwähnten ersten Beurteilungen sind abgedruckt in „Kleinere Schriften und Briefe“ unter VIII.

antiken Naturforschung zurückzukehren, noch auch sich von den Verirrungen der modernen Naturwissenschaft auf Nebenwege verführen zu lassen;“ dieser Versuch sei interessant und wichtig genug, um unsere Aufmerksamkeit zu verdienen.

Der zweite Rezensent, welcher in der vorletzten Nummer „durch das leere Stroh hohler Phrasen ein ganzes Buch lang sich hindurchdreschen“ musste, fühlt sich erquickt, „auf einem reinlichen Speicher einige Häufchen gesunden Korns zu betrachten.“ Er rühmt, dass M*ayer* Ernst mit der mathematisch-physischen Behandlung der organischen Naturerscheinungen mache, und dem Satze, dass organisch und anorganisch keine sich befeindenden Gegensätze sind, den belebenden Odem einhauche. Zu den gelungensten Teilen der Arbeit *Mayers* wird die Zurückweisung einer Lebenskraft gerechnet, auf welcher unbegreiflicherweise der geistreiche *Liebig* fortwährend rekurriere.

Des mechanischen Aequivalents der Wärme wird in keiner der drei vorerwähnten Beurteilungen gedacht.

18.

Schon in einem Briefe vom 22. Juni 1844 an *Griesinger* hatte *Mayer* die Absicht angedeutet, „eine nähere Entwickelung physiologischer Gegenstände mit specieller Berücksichtigung der herrschenden Ansichten“ zum Gegenstande eines weiteren Artikels zu machen, wobei er besonders an die Widerlegung der Theorie *Liebigs* über die tierischen Bewegungen dachte. Diese Trennung sollte nach *Mayer* die Vorteile haben: 1. dass sein physikalischer Teil mehr als eine Sache für sich gegeben wäre; 2. dass die Aufmerksamkeit des Lesers nicht von vornherein zu sehr von demselben abgelenkt würde; 3. dass, wenn er im offenen Felde in einzelnen Punkten sehr bedrängt werden sollte (und er sei weit entfernt, sich für infallibel zu halten), er sich immer noch eine Burg jungfräulich erhalten könnte. Der erste Artikel gebe dann seine Ueberzeugung in Form dogmatischer Wahrheit, der zweite Ansichten, welche nicht als Ultimatum zu gelten hätten.

Obwohl *Mayer* nur nachträglich den physiologischen Teil der damals im Entwurfe vorliegenden „Organischen Bewegung“ ausführlicher gestaltete, muss er doch wohl im Frühjahr 1846 einen weiteren Aufsatz an *Johannes Müller*, damals Professor

der Anatomie und Physiologie an der Universität Berlin, für das von diesem herausgegebene Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin gesandt haben, da uns folgende Antwort vorliegt:

„Euer Wohlgeboren

danke ich ergebenst für die Mitteilung Ihres Aufsatzes, den ich Ihnen hierbei wieder zurückstelle. Obgleich der Gegenstand, nämlich der Zusammenhang zwischen der Oxydation und dem mechanischen Effekt im Organismus, zu den interessantesten Fragen der allgemeinen Physiologie gehört, so scheint mir die Abhandlung doch nicht recht für die Mitteilung im Archiv geeignet. Die Materie ist zu einer ausführlichen Besprechung noch nicht reif, und das Archiv hat die Bestimmung, neue Thatsachen und Beobachtungen mitzuteilen, hat auch Erörterungen über Materien zu vermeiden, welche von demselben Verfasser in besonderen Schriften verhandelt worden sind. Unter diesen Umständen scheint es mir besser, Ihnen die Abhandlung zu eigener weiterer Disposition wieder zuzustellen.

Mit hochachtungsvoller Ergebenheit

Berlin, 10. April 1846. *J. Müller.*“

Dass es sich hier nicht etwa um die Einsendung der Broschüre über die „organische Bewegung“ handelt, geht daraus hervor, dass man als Gegenstand der letzteren nicht nur den „Zusammenhang zwischen der Oxydation und dem mechanischen Effekt im Organismus“ bezeichnen kann, dass bereits ein zu langer Zeitraum seit Erscheinen der „organischen Bewegung“ vergangen war, und dass offenbar gerade auf diese hingewiesen wird, wenn *Müller* von Materien spricht, welche „von demselben Verfasser in besonderen Schriften verhandelt“ worden sind. Was aus dem Aufsatze geworden ist, vermögen wir jedoch nicht anzugeben. Eine kleine Abhandlung „Ueber die physiologische Bedeutung des mechanischen Aequivalents der Wärme“, welche man in den „Kleineren Schriften und Briefen“ unter IX 2 abgedruckt findet, wird sich kaum damit identifizieren lassen. Die nächsten Aufsätze M*ayers* auf dem Gebiete der Physiologie erschienen 1851 (Ueber die Herzkraft) und 1862 (Ueber das Fieber).

19.

Man hat vielfach gefragt, warum M*ayer* nicht selbst Versuche zum Nachweise der Richtigkeit seiner Theorie angestellt

habe; dabei sind jedoch die Verhältnisse, unter welchen er lebte, nicht genügend in Betracht gezogen worden. Zwar hätte ihm sein Bruder *Fritz* gerne die Hilfsmittel der vom Vater übernommenen Apotheke verfügbar gemacht; aber der Arbeitsraum einer Apotheke ist kein Universitätslaboratorium. Sodann war *Mayer* durch Amt und Praxis doch zu sehr in Anspruch genommen, um weitschauende Vorstudien über die Prinzipien, Apparate und Fehlerquellen schulgerechter Versuche vornehmen zu können. Schon im Sommer 1841 schrieb er an *Baur*: „Möchte ich doch selbst so gerne über den Naturwissenschaften alle heterogenen Beschäftigungen aufgeben. Dies geht nun aber bei mir nicht an, die schönen Tage des ungestörten Studiums, des Schiffslebens, sind vorüber, dem Oberamtswundarzt, dem Praktiker muss ich gewaltsam Sinn und Zeit widmen, denn panis regiert die Welt et metercale non injuria."

Uebrigens ist es auch gar nicht nötig, dass jeder bahnbrechende Forscher mit eigner Hand Versuche anstellt, und diejenigen, welchen alle Hilfsmittel für solche zur Verfügung gestellt sind, haben ebensowenig Grund, andern einen Vorwurf aus der Unterlassung von Versuchen zu machen, wie etwa der reiche Pächter, welcher seinem armen Nachbar den Mangel eines Ziergartens zur Kultur und Veredlung seltener Pflanzen vorwerfen wollte. *Mayer* hatte vollständig recht, wenn er schon 1842 auf *Griesingers* „Mach auch Versuche" schrieb: „Ich muss ohne Umschweife gestehen, dass ich, ohne selbst über Bewegung und Wärme quantitative Versuche anstellen zu können, nur auf die grosse Anzahl von Experimenten reflektieren kann, die in der Wissenschaft Währung haben. Dies ist, wie ich glaube, erlaubtes Verfahren, das immer zu Resultaten führen kann."

In der richtigen Anwendung der Versuchsergebnisse war *Mayer* den meisten Physikern von Fach voraus, wie er z. B. das mechanische Wärmeäquivalent auf die einzige Art berechnete, welche damals ohne neue Versuche möglich war, und zwar mit vollem Bewusstsein, dass und warum dies der einzig mögliche Weg war [1]). *Mayers* Ermittelung des mechanischen Wärmeäquivalents bildet so einen Triumph des Zusammenwirkens von Theorie und Erfahrung, und auf so gefundene Wahrheiten beziehen sich seine Worte an *Griesinger* vom 20. Juli 1844: „Zum

[1]) Man sehe z. B. in „Kleinere Schriften und Briefe", VI 7, 13 und VII 1.

Schluss noch eins. Der Schnee macht kalt, das Feuer brennt, ... beim Arbeitenden ist der Atem, der Herzschlag, die Wärme, der Appetit vermehrt, der Stoffwechsel beschleunigt; aber aus welchem Grunde und in welchem Masse nach Pfund und Lot, das ist die Frage.... Die präzise Beantwortung derselben scheint Dir eine zu kümmerliche Frucht für eine Voruntersuchung von 40 Seiten. Wahrlich ich sage Euch, eine einzige Zahl hat mehr wahren und bleibenden Wert als eine kostbare Bibliothek voll Hypothesen."

Mayer hatte schon im Vaterhause Interesse und Verständnis für Experimente gewonnen, und versuchte sich in solchen, selbst wenn es dabei nicht ohne Gefahr abging. So erzählt *Rümelin*, dass er ihn während seiner Universitätszeit einmal mit Brandwunden auf dem ganzen Arm angetroffen habe; *Mayer* hatte eine Reihe brennender Zunderstückchen gleichzeitig auf dem Arm verglühen lassen, und behandelte nun jede der Wunden nach einer andern Methode. Auch in der Richtung seiner Theorie hat *Mayer* Versuche mit Scharfsinn ausgedacht[1]) und einige selbst ausgeführt. So weist er nach, dass sich Flüssigkeiten durch Schütteln erwärmen; er beobachtet in einer Papierfabrik die Erwärmung des Papierbreis, um daraus Schlüsse auf die zum Betriebe nötige Arbeit zu ziehen, und konstruiert einen Arbeitsmesser für technische Zwecke, welcher auf dem gleichen Prinzipe beruht[2]); er sucht seine theoretisch gewonnene Ansicht durch Versuche zu erhärten, dass pulverisierte Körper zum Schmelzen weniger Wärme brauchen als unzerteilte; er berichtet an die Turiner Akademie über Versuche, zum Beweise, dass das Gewicht einer Kupferplatte durch monatelanges Vorbeistreifen von Luft (in einem Ventilator) infolge der Adhäsion merklich abnehmen kann[3]). Im übrigen gibt er zu: „Was ich mit schwachen Kräften und ohne jegliche Unterstützung und Ermunterung von aussen in dieser Beziehung geleistet, ist freilich wenig, aber — ultra posse nemo obligatur."

20.

Nachdem *Mayer* zu der Erkenntnis gelangt war, dass „Kraft" so wenig als Stoff aus Nichts entstehen kann und die Quelle

---

[1]) Darüber geben insbesondere die Briefe an *Baur*, „Kleinere Schriften und Briefe", VI 7 und 9, Aufschluss.

[2]) „Kleinere Schriften und Briefe", XXIII 4.

[3]) „Kleinere Schriften und Briefe", XIV 5.

fast aller irdischen Energie in der Sonne zu suchen sei, musste sich ihm die Frage aufdrängen, ob denn die Sonne für ihre fortwährende Ausgabe keinen Ersatz erhalte.

Schon am 16. August 1841 hatte er an *Baur* geschrieben: „Die unbedingt grossartigste, wichtigste und prächtigste Erscheinung ist die beständige Lichtentwicklung in unserm Sonnenkörper. Ist es ein Glühen der Sonne, warum kühlt sie sich nicht ab? ist es ein Verbrennen, das von bereitwilligen Meteorsteinen abhängt? . . . Seitdem ich angefangen habe, mich mit Naturgegenständen zu beschäftigen, war es mein sehnlichster Wunsch, dass die Wissenschaft diese Frage zu lösen im stande sein möchte. . . . Eine spezielle Abhandlung werde ich diesem Gegenstande widmen, falls mich nicht, wie ich wünsche, der Scharfsinn des Publikums dieser Arbeit überhebt.“ Als *Mayer* so schrieb, hatte er allerdings eine andere Bearbeitung im Auge, als er sie später auf Grund der „bereitwilligen Meteorsteine“ gab.

Gegen Ende 1844 war *Mayer* vorwiegend mit den Beziehungen zwischen „Fallkraft“ und „Bewegung“ (potentieller oder virtueller und kinetischer oder aktueller Energie) beschäftigt [1]), wobei er unter andrem die der *Newton*schen Gravitation entsprechende allgemeine Beziehung zwischen Geschwindigkeiten und Entfernungen zweier anziehender Körper aufstellte, und die Grenze der Geschwindigkeit ermittelte, welche ein Körper unter alleiniger Einwirkung der *Newton*schen Gravitation beim Fallen auf einen Weltkörper erlangen kann (bei der Erde ca. $1^1/_2$ Meilen, bei der Sonne etwa 85 Meilen). Einige Ergebnisse dieser Studien sind schon in der „Organischen Bewegung“ niedergelegt. Insbesondere ist daselbst der Nachweis geliefert, dass durch die Energie der Gravitation unvergleichlich viel grössere Wärmemengen erzielt werden können, als durch die stärksten bekannten Wirkungen der chemischen Affinität (bei der Verbrennung).

Die in dem letzterwähnten Aufsatze beabsichtigt gewesene Polemik gegen die Mechanik, welche *Mayer Baurs* Rat „und der eigenen besseren Ueberzeugung gemäss“ exstirpieren wollte, hatte sich „von selbst in einen Kampf gegen gewisse physikalische Sätze verwandelt“. Ob diese Formänderung genüge, darüber zu entscheiden überliess er *Baurs* Urteil. *Baur* bemerkte in seiner

[1]) Man sehe die Briefe an *Baur* vom 30. August bis 30. November 1844 in „Kleinere Schriften und Briefe“, VI 15—19.

Antwort, dass die Mechanik auf die üblichen Definitorien und Begriffe gestützt, ihren Weg gut gehe, beweise die Theorie der planetarischen Bewegungen, worauf *Mayer* erwiderte: „Die Bemerkungen in Deinem letzten, dass eine Theorie der Gravitationsgesetze an den Bewegungen der Himmelskörper sich als wahr oder falsch ausweisen müsse, gab mir einen Anstoss, meine Theorie in dieser Richtung vorzugsweise zu verfolgen.“ Die Resultate dieser Untersuchungen treten in den nächsten Aufsätzen *Mayers* zu Tage.

21.

Die Erfahrungen, welche *Mayer* bis dahin bezüglich der von ihm ersehnten Prüfung seiner Ansichten gemacht hatte, mochten ihm den Rat *Griesingers* von 1842 ins Gedächtnis rufen: „Bist Du einmal Deiner Sache gewiss und kannst Du sie umfänglich beweisen, so wendest Du Dich an die *Académie des sciences* oder an *A. Humboldt*. In seinem Vaterlande ist man kein Prophet.“ Im Sommer 1846 übersandte *Mayer* der Pariser Akademie einen Aufsatz, „Sur la production de la lumière et de la chaleur du soleil“, mit dessen Prüfung in der Sitzung vom 27. Juli 1846 *Pouillet* und *Babinet* betraut wurden. Am 14. September 1846 erhielten, wohl infolge erneuter Anregung, *Arago* und *Cauchy* den Auftrag zur Beurteilung des gleichen Gegenstandes [1]), doch ist kein Bericht darüber erstattet worden.

Mayer versuchte nun, seine Studien über die Erhaltung der Sonnenenergie und damit verwandte Probleme wie vorher die „Organische Bewegung“ als Broschüre erscheinen zu lassen. Er wandte sich zunächst an die *Cotta*sche Buchhandlung in Stuttgart, von welcher er nachstehende Antwort erhielt:

„Euer Wohlgeboren

sagen wir den verbindlichsten Dank für die Mitteilung des hier zurückfolgenden Manuskriptes. Wir erkennen den Wert desselben vollkommen an und bedauern aufrichtig, dasselbe nicht in Verlag nehmen zu können. Die gegenwärtigen schlimmen Zeiten haben auch auf den Buchhandel so nachteilig eingewirkt, dass

---

[1]) Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, 1846 XXIII, p. 220, 232. Der an *Arago* und *Cauchy* überwiesene Aufsatz mit dem Motto „Simplex veri sigillum“ ist abgedruckt in „Kleinere Schriften und Briefe“ unter X 1.

wir unsere Thätigkeit auf neue Auflagen und Erfüllung früher eingegangener Verbindlichkeiten beschränken müssen.

Mit aller Hochachtung

Euer Wohlgeboren

Stuttgart, 18. Juni 1847. ergebenste

*J. G. Cotta*sche Buchhandlung."

Mayer liess nun die Broschüre von sich aus in der *Schell*schen Offizin zu Heilbronn drucken. Oberreallehrer *Kaufmann* vom dortigen Gymnasium übersandte ein Exemplar zu eventueller kritischer Besprechung an den Professor der Mathematik und Physik am Gymnasium zu Stuttgart, Dr. *Gustav Reuschle*, welcher in Tübingen, Berlin und Paris umfassenden mathematisch-naturwissenschaftlichen Studien obgelegen hatte und nun mit der Herausgabe eines „Kosmos für Schulen und Laien, Stuttgart 1848" beschäftigt war. *Reuschle* fand, dass die Sache „einigen Schwung, viel Kombination und noch mehr Wagniss" habe. Um aber eine Anzeige davon machen zu können, müsse er sich „über eine sonst nirgends zu lesende Grundthatsache (?) durch des Verfassers frühere Schrift (die organische Bewegung, 1845)" belehren. Es sei „die sein sollende Entdeckung *Mayers* über den Zusammenhang der Bewegung aller Art mit der Wärme, worauf er die nach unsern jetzigen physikalischen Ansichten wundersame Behauptung

1 Kilogrammmeter mechanische Arbeit = 0,00273 Wärmeeinheiten

gründet." Er zweifle übrigens, ob er sich überzeugen lassen könnte. Schliesslich bat er um Besorgung der „Organischen Bewegung".

Kaufmann setzte *Mayer* von dieser Sachlage in Kenntnis und schlug ihm vor, mit *Reuschle* direkt in Verbindung zu treten. *Mayer*, welcher mit *Reuschle* von der Hochschule her befreundet war, ging darauf ein, und so entstand ein Briefwechsel, von welchem ein Teil erhalten geblieben ist [1]).

22.

Am 12. Januar 1848 sandte *Mayer* an *Reuschle* die gewünschte Broschüre und bemerkte dabei, dass er in derselben

---

[1]) „Kleinere Schriften und Briefe" XI.

das Prinzip von der Unzerstörbarkeit der Arbeit und ihrer Fortexistenz als Wärme auseinandergesetzt habe. Da inzwischen keinerlei Einwendung dagegen erhoben worden sei, so habe er vor der Hand eine weitere Apologie für überflüssig gehalten; denn qui tacet consentit. Ganz dieselbe Theorie stelle auch *Helmholtz* auf in einer soeben erschienenen Schrift „Ueber die Erhaltung der Kraft, Berlin 1847“, die er gleichfalls beilege.

„Wenn es den Naturforschern ernstlich darum zu thun ist, das in Rede stehende Gesetz zu prüfen, so kann dies leicht durch das Experiment geschehen; es wäre zu untersuchen, ob die Quantität der produzierten Reibungswärme allezeit dem Verbrauche an mechanischer Arbeit proportional ist, oder ob diese Quantität eine Funktion ist von der Natur der reibenden Körper und dergl. Vergl. hierüber *Helmholtz* a. a. O. S. 27 und das dortige Citat „*Joule*, on the existence of an equivalent etc.“ Ich habe den bekannten Mechaniker *Emil Stöhrer* in Leipzig aufgefordert, solche Versuche auf meine Kosten anzustellen, es hat sich derselbe aber bis jetzt nicht in die Sache einlassen wollen, was mir jetzt auch recht ist; denn einmal weiss ich zum voraus, wie das Resultat ausfällt, wenn die Versuche hinreichend genau angestellt werden, und zweitens halte ich die medizinische Praxis immer mehr für das geeignete Feld meiner Thätigkeit. Inzwischen da die Schrift einmal gedruckt vor mir liegt, — ein fait accompli wie eine Jugendsünde, so gestatte mir noch eine Bemerkung.“

„Im 8. Kapitel meiner Beiträge [zur Dynamik des Himmels] habe ich die gründlich erwogene Behauptung aufgestellt, dass durch die Ebbe und Flut die Erde in ihrer Achsendrehung gebremst wird. Liesse sich nun nicht mittels des mechanischen Kalküls definitiv über diesen Satz urteilen? . . . Mit grossem Danke würde ich es anerkennen, wenn Du mir Deine sehr schätzbare Ansicht mitteilen wolltest; denn wenn ich glauben könnte, dass sich die in Kapitel 8 aufgestellte Theorie widerlegen liesse, so würde ich ohne weiteres die ganze Schrift (die noch nicht im Buchhandel ist) unterdrücken.“

In einem Briefe vom 10. Februar 1848 erkannte *Mayer* mit Freude an, dass *Reuschle* nicht gewillt sei, seine Ebbe- und Fluttheorie ohne weitere Prüfung als paradoxe Ideen eines Dilettanten abzuschütteln, und am 23. Februar kam ein Vertrag mit dem Heilbronner Buchhändler *Landherr* zu stande, welcher

uns vorliegt. *Landherr* übernahm die Kosten für Papier, Satz und Druck sowie den Debit von *Mayers* „Beiträge zur Dynamik des Himmels in populärer Darstellung“ und verpflichtete sich, dem Verfasser bei einem Absatze von 500 Exemplaren 100 Gulden (171 Mark) und für jedes innerhalb zweier Jahre abgesetzte weitere Exemplar 24 Kreuzer (69 Pfennige) zu bezahlen. Die erste Abrechnung wurde auf den 1. März 1849, die vollständige Abrechnung auf 1. März 1850 festgesetzt. Wenn bis dahin keine 500 Exemplare verkauft wären, sollte die Schrift ohne Bezahlung Eigentum des Buchhändlers *Landherr* werden. Eine von beiden Seiten unterzeichnete Nachschrift vom 17. Januar 1850 besagt: „Da sich der Versandt obiger Schrift um eine Jahresrechnung verzögert hat, so werden beide Abrechnungstermine je um ein Jahr hinausgeschoben.“

Enthält der erste Aufsatz *Mayers* das Fundament der neueren Naturwissenschaft, der zweite den ersten Aufbau von Physik und Physiologie auf demselben, so zeigt der dritte die Fruchtbarkeit der *Mayer*schen Anschauungen bei Problemen, welche das Weltall betreffen; er schliesst die bedeutungsvollste Periode des *Mayer*schen Schaffens.

III.

Beiträge zur Dynamik des Himmels

in populärer Darstellung.

(Heilbronn, Verlag von *Johann Ulrich Landherr,* 1848.)

1.

Einleitung.

Jeder leuchtende oder glühende Körper verliert Licht und Wärme in dem Masse, als er davon ausstrahlt, und wird, wenn kein angemessener Wiederersatz stattfindet, dunkel und kalt.

Das Licht besteht nämlich, wie der Schall, in Schwingungen, die sich von dem leuchtenden oder tönenden Körper wellenartig auf ein umgebendes Medium ausbreiten. Es ist nun vollkommen klar, dass ein Körper nur dann seiner Umgebung eine solche erzitternde Bewegung zu erteilen vermag, wenn er sich selbst in einer ähnlichen Bewegung befindet; denn wo ein Körper im Zustande der Ruhe oder im Gleichgewichte mit seiner Umgebung ist, da ist eine Ursache zu wellenförmiger Bewegung nicht vorhanden. Soll eine Glocke oder eine Saite tönen, so muss durch eine äussere Gewalt die Glocke angeschlagen oder die Saite in Schwingung versetzt werden, und diese Gewalt ist die Ursache des Tones.

Würde die Saite sich bewegen, ohne irgend einen Widerstand zu erfahren, so könnte und müsste dieselbe die ihr mitgeteilte Schwingung für alle Zeiten beibehalten, ein Ton würde aber hier nicht entstehen, denn ein solcher besteht wesentlich in der Fortpflanzung der Bewegung, und in dem Masse, als die Saite ihre Schwingungen der widerstandleistenden Umgebung mitteilt, verliert sie notwendig selbst an Bewegung und kehrt dadurch endlich in den Zustand der Ruhe zurück.

Man hat oft und passend die Sonne mit einer immerfort tönenden Glocke verglichen. Wodurch wird aber dieser Himmelskörper, der auf eine so grossartige und herrliche Weise die Räume des Weltalls mit seinen Strahlen erfüllt, wodurch wird er in ewig ungeschwächter Kraft und Jugend erhalten? Wodurch wird einer endlichen Erschöpfung, einem Zustande des Gleichgewichtes vorgebeugt, damit nicht Nacht und Todeskälte die Räume des Planetensystems erfülle?

Der Enthüllung „des grossen Geheimnisses“, wie *W. Herschel* die vorliegende Frage nennt, glaubten manche dadurch näher kommen zu können, dass sie annahmen, durch die an und für sich völlig kalten Sonnenstrahlen werde nur der Wärme„stoff“ in den Körpern, auf welche
1 die Strahlen treffen, aus dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung versetzt; um diese kalten Strahlen auszusenden, müsse die Sonne nicht gerade ein erhitzter Körper sein, und es könne daher, der endlosen Lichtentwicklung ungeachtet, an ein eigentliches Erkalten der Sonne nicht gedacht werden.

Es ist klar, dass durch eine solche Erklärung nichts gewonnen wird, denn abgesehen von dem Hypothetischen eines bald ruhenden, bald bewegten, oder eines bald kalten bald warmen Wärmestoffes u. dergl. ist es eine genugsam festgestellte Thatsache, dass die Sonne kein kaltes, phosphorescierendes, sondern ein sehr intensiv erwärmendes Licht ausstrahlt, und solche erwärmende Strahlen von einem kalten Körper herleiten zu wollen, widerspricht ebenso sehr der Vernunft als der Erfahrung.

Natürlich konnten auch diese und ähnliche Hypothesen den Anforderungen einer exakten Wissenschaft nicht genügen, und ich will deshalb versuchen, auf eine allgemein verständliche Weise den hier obwaltenden Zusammenhang von Ursache und Wirkung genügender, als es bis jetzt geschehen, darzustellen, nicht ohne dabei die wohlwollende 2
Nachsicht der Sachverständigen in Anspruch zu nehmen, denen die Schwierigkeiten solcher Untersuchungen bekannt sind.

2.

Quellen der Wärme.

Ehe wir zu den speziellen Gegenständen dieser Abhandlung übergehen, müssen wir die Frage erörtern, auf welche Weise überhaupt Wärme (und Licht) erzeugt werden kann.

Die Quellen der Wärme sind sehr mannigfaltig. Wärme, die in ihren höheren Graden immer mit Licht gepaart ist, entsteht bei jeder Verbrennung, bei der Gärung, bei der Fäulnis, beim Löschen des gebrannten Kalkes, bei der Mischung von Vitriolöl mit Wasser oder mit Alkohol, bei der Zersetzung des Chlorstickstoffes, der Schiessbaumwolle u. dergl. Sie wird ferner hervorgebracht durch den elektrischen Funken und den sogenannten galvanischen Strom; sie zeigt sich bei der Reibung, beim Stosse, und erscheint als unzertrennlicher Begleiter des tierischen Lebensprozesses.

Als allgemeines Naturgesetz, von dem keine Ausnahme stattfindet, gilt der Satz: dass zur Erzeugung von Wärme ein gewisser Aufwand erforderlich ist. Dieser Aufwand, so verschiedenartig er sonst sein mag, lässt sich immer auf zwei Hauptkategorien zurückführen; es besteht derselbe nämlich entweder in einem chemischen Material oder in einer mechanischen Arbeit.

Wenn Materien, die eine grosse chemische Verwandtschaft zu einander besitzen, in getrenntem Zustande einander treffen und sich verbinden, so geht eine solche Vereinigung

unter Entwicklung einer bedeutenden Menge von Wärme vor sich. Die Grösse dieser Wärmeentwicklung pflegt man so zu bestimmen, dass man angibt, wieviel Kilogramm Wasser durch den chemischen Prozess um einen Grad der hundertteiligen Skala erwärmt werden können; die Wärmemenge, durch welche 1 kg Wasser um 1^0 erhöht wird, nennt man Wärmeeinheit, Kalorie.

Durch zahlreiche Versuche hat man z. B. gefunden, dass 1 kg trockene Holzkohle bei ihrer vollkommenen Verbindung mit Lebensluft 7200 Wärmeeinheiten liefert, wofür man auch kurz und ohne Berücksichtigung des Gewichtes der verbrennenden Materie sagt: die Holzkohle gibt 7200^0
3 Wärme.

Gute Steinkohlen geben 6000, vollkommen trocknes Holz 3300 bis 3900, der Schwefel 2700, das Wasserstoffgas aber $34\,600^0$ Wärme, u. s. f.

Wie die Erfahrung lehrt, so hängt die Grösse der Wirkung nur von der Grösse des Verbrauchs, nicht aber von den Umständen ab, unter denen der Verbrauch vor sich geht. Man erhält nämlich ganz dieselbe Wärmemenge, die Verbrennung mag langsam oder rasch, in atmosphärischer Luft oder in reinem Sauerstoffgase u. s. f. erfolgen. Ebenso ist es für die Menge der produzierten Wärme ganz gleichgültig, ob ein Körper, z. B. ein Metall, in der Luft verbrennt und die unmittelbar entstandene Wärme gemessen wird, oder ob die Oxydation in einer galvanischen Säule vor sich geht und die Wärmeentwickelung an andern Orten, als an dem der Verbrennung, z. B. am Leitungsdrahte, erfolgt.

Das nämliche Grundgesetz gilt auch für die Erzeugung der Wärme auf mechanischem Wege. Es hängt die Menge der hervorgebrachten Wärme einzig von der Menge der verbrauchten mechanischen Arbeit und nicht von der Art und Weise der Verwendung dieser Arbeit ab. Wenn man also die Wärmemenge kennt, die durch irgend eine gegebene Arbeit geliefert wird, so lässt sich durch jede andre Arbeit von bekannter Grösse die dazu gehörige Wärme leicht durch

Rechnung finden, wobei es keinen Grössenunterschied bedingt, ob die Arbeit zum Zusammendrücken eines Gases, zu einem Stosse oder zur Reibung verwendet wird.

Jede mechanische Arbeit oder Leistung lässt sich der Grösse nach durch ein Gewicht bestimmen, das durch diese Arbeit auf eine gewisse Höhe gehoben wird. Man erhält den mathematischen Ausdruck für die Grösse der Arbeit, d. h. man erhält das Mass dieser Arbeit, wenn man die Anzahl der gehobenen Gewichtseinheiten mit der Anzahl der Höheneinheiten multipliziert.

Nimmt man als Gewichtseinheit das Kilogramm, als Höheneinheit ein Meter senkrechte Höhe, so betrachtet man die Erhebung von einem Kilogrammgewichte auf ein Meter Höhe als Einheit der mechanischen Leistung. Dieses Arbeitsmass nennt man Meterkilogramm und bezeichnet dasselbe mit mk. 4

Ebenso gut lässt sich aber auch die Grösse einer Leistung durch ein Gewicht und durch die Geschwindigkeit bestimmen, die dem ursprünglich als ruhend angenommenen Gewichte erteilt wird. Es wird dann die Arbeit gemessen durch das Produkt aus der Anzahl der Gewichtseinheiten [Masseneinheiten] in die [halbe] Quadratzahl der Geschwindigkeitseinheiten. Da indessen die erste Bestimmungsweise manche Bequemlichkeiten vor der zweiten voraus hat, so pflegt man durchgängig sich der ersteren zu bedienen, wobei übrigens in jedem Falle die Reduktion nach bekannten einfachen Gesetzen leicht vorgenommen werden kann.

Das Produkt aus der Zahl der Gewichtseinheiten in die der Höheneinheiten, oder wie man kürzer zu sagen pflegt, das Produkt aus der Masse [Gewicht] in die Höhe (ausgedrückt durch eine Anzahl oder durch einen Bruchteil von Meterkilogramm), ebenso wie das Produkt aus der Masse in das [halbe] Quadrat der Geschwindigkeit, wird „lebendige Kraft der Bewegung“, „mechanischer Effekt“, „dynamischer Effekt“, „mechanische Arbeit“, „Leistung“, *„quantité de travail“* u. s. w. genannt.

Die zur Erwärmung von 1 kg Wasser um 1 ° C. er-

forderliche Arbeit wird auf experimentalem Wege ermittelt; sie ist = 425 mk; mithin ist 1 mk = 0,00235 Wärmeeinheiten*). Durch Herabfallen von einer Höhe = 425 m erhält eine Masse die Endgeschwindigkeit = 91 m in 1 Sekunde; mithin entwickelt eine Masse, die sich mit dieser Geschwindigkeit bewegt, wenn sie ihre Bewegung durch Stoss, Reibung u. dergl. verliert, 1^0 Wärme. Wird die Geschwindigkeit verdoppelt, oder verdreifacht, so erhält man 4^0 oder 9^0 Wärme u. s. f. Allgemein also, wenn die Geschwindigkeit c Meter beträgt, so ist die dazu gehörige Wärmeentwicklung

$$= 0{,}00012\ c^2 \text{ Grad.}$$

3.

Von dem Masse der Sonnenwärme.

Das Aktinometer ist ein von dem jüngeren *Herschel* erfundenes Werkzeug, um die Wirkung der Sonnenstrahlen der Grösse nach zu bestimmen. Dieses Instrument ist im wesentlichen ein Thermometer mit grossem cylindrischen Gefässe, in welchem eine intensiv blaue Flüssigkeit sich befindet, die zum Auffangen der Sonnenstrahlen dient und durch ihre Ausdehnung die hervorgebrachte Erwärmung an einer graduierten Skale angibt.

Nach den mit diesem Instrumente angestellten Versuchen berechnet *Herschel* die erwärmende Kraft der Sonne so gross, dass durch diese Wärme auf der Erdoberfläche jährlich eine 29,2 Meter dicke Eisschichte geschmolzen werden
6 könnte.

Durch sehr sorgfältige Experimente, welche in neuerer Zeit *Pouillet* mit einem von ihm selbst zu diesem Zwecke erfundenen Instrumente, dem Linsen-Pyrheliometer, angestellt hat, findet dieser grosse Physiker, dass durchschnittlich jedes

---

*) Wie man zu diesem wichtigen Resultate gelangt, habe ich an einem andern Orte (die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel, Heilbronn 1845) dargelegt. S. o. S. 56.

Quadratcentimeter Erdoberfläche in einer Minute soviel Wärme von der Sonne empfängt, dass durch dieselbe 1 Gramm Wasser um 0,4408° erwärmt werden kann. Von dieser 7
Wärmemenge gelangt jedoch nicht viel über die Hälfte auf die feste Erdoberfläche, da stets ein beträchtlicher Teil davon durch die Atmosphäre absorbiert wird.

Die Eisschichte, welche nach dieser Berechnung *Pouillets* durch die Sonne in einem Jahre auf der Erde geschmolzen werden könnte, hat eine Dicke von 30,89 Meter.

Nach *Pouillets* Angabe, an welche wir uns hinfort halten wollen, erhält also ein Quadratmeter Erdoberfläche im Durchschnitte per Minute 4,408 Wärmeeinheiten. Da aber die ganze Erdoberfläche 9 260 500 Quadratmeilen — die geographische Meile zu 7420 m gerechnet — enthält, so bekommt die Erde in jeder Minute 2247 Billionen Wärme- 8
einheiten von der Sonne.

Nennen wir, um kleinere Zahlen zu bekommen, die Wärmemenge, durch welche eine Kubikmeile Wasser um 1° erhöht wird, kurzweg eine Wärmekubikmeile oder Gross-
kalorie, so wird, da eine Kubikmeile Wasser 408,54 Billio- 9
nen Kilogramm wiegt, eine Wärmekubikmeile also = 408,54 Billionen Wärmeeinheiten zu setzen ist, der von den Sonnenstrahlen auf die Erde in einer Minute ausgeübte Effekt durch 5,5 Grosskalorien ausgedrückt.

Denkt man sich um die Sonne eine Hohlkugel gespannt, deren Halbmesser gleich ist der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne, oder = 20 589 000 geographische Meilen, so ist die Oberfläche dieser Kugel = 5326 Billionen Quadratmeilen. Zu diesem Raume verhält sich die Durchschnittsfläche der Erdkugel, oder die Spitze des auf die Erde fallenden Lichtkegels, wie $\frac{9\,260\,500}{4}$: 5326 Billionen, oder wie 1 : 2300 Millionen. Dieses Verhältnis drückt den Bruchteil aus, den die Erde von der Wärme erhält, die von der Sonne im ganzen ausgesendet wird. Hiernach beläuft sich der ganze strahlende Effekt der Sonne per Minute auf 12 650 Millionen Grosskalorieen.

Bei dieser erstaunlichen Ausstrahlung müsste ein Körper, auch von der Grösse unserer Sonnenkugel, in Bälde sich abkühlen, wenn nicht ein angemessener Wiederersatz stattfände.

Wird nämlich die Wärmekapazität der Sonnenmasse, dem Volumen nach gerechnet, gleich der des Wassers, das unter allen bekannten Materien die grösste Wärmekapazität besitzt, angenommen, und denkt man sich zugleich den Wärmeverlust, den die Sonne durch Strahlung erleidet, auf ihre ganze Masse gleichförmig verteilt, so ergibt sich für dieselbe eine jährliche Abkühlung = 1,8°, wonach die Sonne in der geschichtlichen Zeit von 5000 Jahren eine Temperaturabnahme von 9000° erlitten haben müsste.

Uebrigens ist an eine gleichförmige Durchkühlung der ganzen ungeheuren Masse natürlich nicht zu denken; vielmehr müsste die Sonne, wenn ihre Ausstrahlung nur auf Kosten eines einmal gegebenen Vorrates von Wärme oder von strahlender Kraft erfolgen sollte, offenbar in kurzer Frist sich mit einer erkalteten Kruste überziehen, womit die Strahlung ein Ende hätte. Die durch eine ungezählte Reihe von Jahrtausenden fortdauernde Thätigkeit der Sonne lässt also mit mathematischer Gewissheit auf einen dem grossartigen Verbrauche entsprechenden Wiederersatz schliessen.

Liegt dieser Wiederersatz in einem chemischen Prozesse?

Nehmen wir, um dieser Vermutung so viel nur möglich einzuräumen, die ganze Sonnenmasse für einen Klumpen Steinkohlen, wovon jedes Kilogramm 6000 Wärmeeinheiten durch Verbrennung liefert, so wäre die Sonne nicht weiter als 46 Jahrhunderte lang im stande durch ihren Brand den genannten Wärmeaufwand zu bestreiten, — des zur Verbrennung nötigen Sauerstoffes und noch manches entgegenstehenden Umstandes nicht zu gedenken.

Es wurde die Vermutung ausgesprochen, die Achsendrehung der Sonne könnte das ursächliche Moment von ihrem Strahlen sein. Bei näherer Prüfung zeigt sich aber auch diese Hypothese ganz unhaltbar.

Einen raschen Umschwung für sich allein, ohne Rei-

bung, ohne Widerstand, kann man sich nicht als die Ursache einer Licht- und Wärmeentwickelung denken, zumal da die Sonne sich keineswegs durch ihre Umdrehungsgeschwindigkeit vor den übrigen Körpern des Planetensystems auszeichnet. Die Sonne bedarf nämlich zu einer Umdrehung eine Zeit von etwa 25 Tagen; da nun der Sonnendurchmesser nahe 112mal grösser ist, als der Erddurchmesser, so folgt daraus, dass ein Punkt des Sonnenäquators nur etwas über viermal schneller rotiert, als ein Punkt des Erdäquators. Der grösste Planet des Sonnensystemes, dessen Durchmesser ca. $\frac{1}{10}$ von dem der Sonne beträgt, dreht sich in weniger als zehn Stunden um seine Achse; ein Punkt seines Aequators rotiert also ungefähr sechsmal schneller, als ein Punkt des Sonnenäquators. Der äussere Ring des Saturns übertrifft den Sonnenäquator in seiner Rotationsgeschwindigkeit um mehr als das zehnfache. Nichtsdestoweniger wird aber weder an der Erde, noch am Jupiter, noch am Saturnusringe eine Licht- und Wärmeerzeugung wahrgenommen.

Inzwischen könnte man sich denken, dass auf der Sonne infolge der Rotation eine Reibung stattfände, die auf andern Himmelskörpern fehlt, wodurch dann allerdings eine grossartige Wärmeerzeugung hervorgebracht werden könnte. Zu einer Reibung sind aber allemal mindestens zwei Körper erforderlich, die in unmittelbarer Berührung miteinander stehen und mit verschiedenen Geschwindigkeiten oder in verschiedenen Richtungen sich bewegen. Dabei liegt in der Reibung das Bestreben zur Herstellung einer gleichartigen Bewegung, und wenn diese eingetreten ist, hört die Aktion auf. Wenn nun die Sonne der eine bewegte Körper ist, welches ist dann der andere, und welche Gewalt hält diesen fest, damit er sich nicht in die Achsendrehung der Sonne ergibt?

Wollte man sich aber auch über diese Schwierigkeiten hinwegsetzen, so stände einer solchen Hypothese noch ein weiteres und grösseres Hindernis entgegen. Aus der be-

kannten Masse und dem Volumen der Sonne lässt sich die Grösse der lebendigen Kraft, welche die Sonne vermöge ihrer Umdrehung besitzt, berechnen; sie ist bei einer 25-tägigen Rotationszeit (und unter der Voraussetzung einer gleichförmigen Dichtigkeit, also höchstens) = 182300 Quinquillionen Meterkilogramm. Da nun für eine Wärmeeinheit 425 Meterkilogramm verbraucht werden müssen, so geht aus dem bisherigen hervor, dass der ganze Rotationseffekt der Sonne, wenn durch ihn der Wärmeverbrauch gedeckt werden sollte, in hundertachtundfünfzig Jahren verzehrt sein müsste.

4.

Die Entstehung der Sonnenwärme in der Organisation des Planetensystemes begründet.

Der Raum unseres Sonnensystems ist mit einer grossen Zahl ponderabler Objekte bevölkert, die dem *Newton*schen Gravitationsgesetze gemäss sich dem Schwerpunkte der Sonne zu nähern streben und bei ihrer Annäherung derselben mehr und mehr in Bewegung geraten.

Eine im Anziehungsbereiche der Sonne befindliche, anfänglich ruhende Masse wird der Anziehung folgend in Bewegung kommen und wenn nicht noch anderweitige Einflüsse stattfinden, in geradem Laufe auf die Sonne hinabstürzen. In der Wirklichkeit kann aber eine solche geradlinige Bahn kaum je vorkommen, wie man sich leicht durch ein Experiment versinnlichen mag.

Wird nämlich ein Gewicht an einem Faden so aufgehangen, dass es nur in einem einzigen Punkte den Boden berühren kann, und wird dieses Gewicht auf einer gewissen Höhe bei angespanntem Faden seiner Schwere überlassen, so sieht man beinahe ohne Ausnahme, dass dasselbe in seinem schiefen Falle jenen Punkt, dem es vermöge der Anziehung der Erde zustrebt, nicht wirklich erreicht, sondern vielmehr längere Zeit um denselben in einer krummen Bahn herumläuft.

Der Grund dieser Erscheinung liegt einfach darin, dass die geringste Ablenkung von dem kürzesten Wege, z. B. der Widerstand der Luft gegen eine nicht vollkommen gleichförmige Oberfläche u. s. w., jenes Zusammentreffen hindern kann, und dass eine einmal vorhandene Ablenkung, solange das Gewicht in Bewegung bleibt, sich fort und fort erhält.

Inzwischen ist ein Zusammentreffen immerhin möglich; die Wahrscheinlichkeit dazu wird aber um so geringer sein, je grösser die (lotrechte) Fallhöhe, je länger der Faden und je kleiner die Berührungsfläche ist.

Aehnliche Gesetze gelten bei den Bewegungen der Körper im Raume des Sonnensystems. Die Fallhöhe ist hier die ursprüngliche Entfernung von der Sonne, in welcher ein Körper seine Bewegung beginnt, die Länge des Fadens stellt die in die Entfernung abnehmende Anziehung der Sonne dar, und die Berührungsfläche ist die Durchschnittsfläche der Sonnenkugel. Wenn nun eine kosmische Masse an der physischen Grenze der Anziehungssphäre unserer 11
Sonne ihren Fall gegen diesen Himmelskörper beginnt, so ist sie auf ihrer unermesslichen Bahnstrecke bei der anfänglich äusserst schwachen Anziehung der Sonne viele Jahrhunderte lang zuerst dem störenden Einflusse der nächsten Fixsterne und später dem der planetarischen Körper des Sonnensystems ausgesetzt, und es liegt somit eine geradlinige Bahn dieser Masse, oder ein senkrechtes Herabstürzen auf die Sonne, ausser dem Bereiche der Möglichkeit. Hiermit stimmt denn auch die Beobachtung von den krummlinigen geschlossenen Bahnen aller bekannten planetarischen Massen überein.

Kehren wir zu dem Beispiele des an einem Faden schwingenden Gewichtes zurück, so bemerken wir, dass dasselbe fortwährend Bahnen um den Anziehungspunkt beschreibt, deren Durchmesser sich nahezu gleich bleiben. Bei anhaltender Beobachtung finden wir aber, dass dieser Durchmesser allmählich abnimmt, dass somit das Gewicht der Berührungsstelle sich beständig nähert und zuletzt un-

fehlbar mit derselben zusammenfällt, welch letzteres notwendig dann eintreten muss, wenn der Bahndurchmesser den Durchmesser der Berührungsfläche an Grösse nicht mehr übertrifft. Diese endliche Berührung ist also keineswegs ein zufälliges oder gar unwahrscheinliches, sondern sie ist vielmehr ein notwendiges Ereignis, herbeigeführt durch die Hindernisse, die die schwingende Masse fortwährend auf ihrer Bahn durch Reibung und Luftwiderstand erfährt. Gelänge es aber alle Hindernisse vollkommen zu beseitigen, dann würde sich allerdings die Masse in immer gleichen Schwingungen behaupten.

Das gleiche Gesetz gilt wiederum auch für die Himmelskörper. Die Bewegung derselben in einer absoluten Leere bedingt einen gleichförmigeu Gang, wie den eines mathematischen Pendels; ein im Raume verbreitetes widerstandleistendes Medium dagegen nötigt die planetarischen Körper, in immer kürzeren Bahnen um die Sonne zu laufen und endlich bleibend mit ihr sich zu vereinigen.

Einen solchen Widerstand angenommen, so haben diese wandernden Himmelskörper in der Peripherie des Sonnensystemes ihre Wiege, im Zentrum ihr Grab, und wie lange auch die Dauer und wie gross auch die Zahl ihrer Umläufe sein mag, so werden durchschnittlich in einem gewissen Zeitraume ebenso viele Massen auf der Sonne anlangen, als früher einmal in einem gleichen Zeitraume in ihren Anziehungsbereich eingetreten sind.

Alle diese Massen stürzen mit einem heftigen Stosse in ihr gemeinsames Grab. Da nun keine Ursache ohne Wirkung besteht, so muss auch jede dieser kosmischen Massen, ebenso wie ein zur Erde fallendes Gewicht, durch ihren Stoss eine, ihrer lebendigen Kraft proportionale Wirkung, eine gewisse Menge von Wärme hervorbringen.

An die Vorstellung also von einer den weiten Himmelsraum durch Anziehung beherrschenden Sonne, von allenthalben im Universum verbreiteten, wägbaren Materien und von einer die Welt erfüllenden widerstandleistenden ätherischen Substanz, an diese Vorstellungen knüpft sich mit

innerer Notwendigkeit eine andere, nämlich die von einer fortlaufenden, unerschöpflichen Erzeugung von Wärme auf dem Zentralkörper dieses kosmischen Systemes.

Ob nun eine solche Vorstellung in unserem Sonnensysteme realisiert, ob mit anderen Worten die immerwährende, wundervolle Licht- und Wärmeentwickelung eine Wirkung kosmischer Materien ist, die sich ohne Unterbrechung in die Sonne stürzen, diese Frage soll jetzt einer näheren Prüfung unterworfen werden.

Was zuerst die Existenz von Urmaterien betrifft, die im Weltenraume schweben und der Massenanziehung des nächstgelegenen Sternsystemes, anfänglich mit äusserster Langsamkeit, folgen sollen, so werden die Astronomen und Physiker wohl kaum eine solche in Abrede zu ziehen geneigt sein; denn der Reichtum der uns umgebenden Natur, sowie der Anblick des gestirnten Himmels, der durch seine erstaunliche Fülle den Beobachter zur Bewunderung hinreisst, lässt uns nicht glauben, dass der unermessliche Raum, der unser Sonnensystem von dem Gebiete anderer Fixsterne abscheidet, von jeder Materie entblösst, nur aus einer völlig leeren Einöde bestehen sollte.

Lassen wir jedoch alle Vermutungen über Gegenstände, die uns dem Raume und der Zeit nach so ferne stehen, und halten wir uns ausschliesslich an das, was die Beobachtung gegenwärtiger Dinge lehrt.

Im Raume des Sonnensystemes bewegen sich ausser den jetzt bekannten Planeten und deren 18 Trabanten noch eine sehr grosse Zahl anderer Himmelsmassen, von welchen die Kometen zunächst Erwähnung verdienen.

Keplers berühmter Ausspruch „es gibt mehr Kometen im Himmelsraume, als Fische im Ozean“ gründet sich auf die Thatsache, dass nur ein sehr geringer Teil von der Gesamtzahl der Kometen unseres Sonnensystemes in ihrem Laufe den Erdbewohnern zu Gesichte kommen kann, und dass mithin nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung aus der nicht unbeträchtlichen Zahl wirklich beobachteter Kometen noch auf eine weit grössere Masse solcher

geschlossen werden muss, die sich ausser unserem Gesichtskreise bewegen.

Neben den Planeten, Monden und Kometen gibt es aber in unserem Sonnensysteme noch eine weitere Kategorie von Himmelskörpern. Es sind dieses geballte Massen, die ihrer verhältnismässig ausserordentlich geringen Grösse wegen als kosmische Atome angesehen werden können, und denen *Arago* den passenden Namen „Asteroiden“ gegeben hat. Wie die Planeten und Kometen, so folgen auch sie den Gesetzen der Schwere und umkreisen in elliptischen Bahnen die Sonne. Sie sind es, die, wenn sie durch Zufall in die unmittelbare Nähe der Erde kommen, das sich unaufhörlich wiederholende Schauspiel der Sternschnuppen und Feuerkugeln darstellen.

Anhaltende Beobachtungen haben gelehrt, dass in einer hellen Nacht selten zwanzig Minuten vergehen, worin nicht von einem beliebigen Standorte aus eine Sternschnuppe wahrgenommen werden kann. Zu gewissen Zeiten aber werden diese Meteore in erstaunlich grosser Menge beobachtet, und man hat z. B. die Zahl derselben während eines neunstündigen Sternschnuppenfalles in Boston, wo sie „wie Schneeflocken zusammengedrängt“ fielen, auf wenigstens 240000 berechnet. Alles zusammengenommen lässt sich die Zahl der binnen Jahresfrist in die Nähe der Erde kommenden Asteroiden auf Hunderte und Tausende von Billionen schätzen. Ohne allen Zweifel ist dieses aber wiederum nur ein verschwindend kleiner Teil von der Gesamtzahl der Asteroiden, die um die Sonne treiben, und wenn man auf diese letztere nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung einen Schluss zieht, so verliert man sich ins Grenzenlose.

Wie schon erwähnt wurde, hängt es von der Existenz eines widerstandleistenden Aethers ab, ob diese Himmelskörper, Planeten, Kometen, Asteroiden, in gleichbleibenden mittleren Entfernungen die Sonne umkreisen, oder ob sie alle in einer beständigen Annäherung gegen den Zentralkörper begriffen sind.

Ueber die faktische Existenz eines solchen Aethers waltet aber unter den Naturforschern kein Zweifel ob. Hören wir, wie sich unter Andern *Littrow* hierüber äussert: „Die Annahme, dass die Planeten und Kometen sich im absolut 12
leeren Raum des Himmels bewegen, kann auf keine Weise gestattet werden. Wenn es in dem Weltenraume auch keine andre flüssige Materie gäbe, als die, welche zur Existenz des Lichtes notwendig ist (dieses Licht mag nun nach der Emissionstheorie selbst materiell sein, oder nach der Undulationslehre in den Schwingungen eines überall verbreiteten Aethers bestehen), so ist dieses allein schon hinlänglich, die Bewegungen der Planeten in einem solchen Medium in der Folge der Zeiten und damit die Anordnung des Systemes selbst gänzlich zu ändern, ja die gegenwärtige Einrichtung desselben ganz aufzuheben, da die endliche Folge eines solchen widerstehenden Mittels das Herabstürzen aller Planeten und Kometen auf die Sonne sein muss.“

Einen direkten Beweis von dem Vorhandensein eines solchen Widerstandes hat der Akademiker *Enke* geliefert, indem er nachgewiesen hat, dass der von ihm berechnete und nach ihm benannte Komet, welcher in der kurzen Zeit von 1207 Tagen um die Sonne läuft, eine regelmässige Beschleunigung seiner Bewegung zeigt, vermöge derer sich seine Umlaufszeit jedesmal um ungefähr sechs Stunden verkürzt. 13

Es ist der Natur der Sache angemessen, dass die Planeten, ihrer ausnehmenden Grösse und Dichtigkeit wegen, eine nur sehr langsame und bis jetzt unmerkliche Verminderung ihrer Bahndurchmesser erfahren. Dagegen müssen sich die kleinen kosmischen Massen unter sonst gleichen Umständen in dem Masse der Sonne rascher nähern, je kleiner ihr körperlicher Durchmesser ist, und es kann mithin geschehen, dass in einem Zeitraume, in welchem der mittlere Abstand der Erde von der Sonne um ein Meter abnimmt, ein kleines Asteroid einen Weg von mehr als tausend Meilen gegen die Sonne zurücklegt.

Da sich von allen Seiten langsam aber unaufhaltbar ein unermesslicher Strom wägbarer Substanzen der Sonne zuwälzt, so müssen sich diese Massen bei ihrer Annäherung an den gemeinschaftlichen Mittelpunkt immer dichter und dichter zusammendrängen. Die Vermutung liegt deshalb nahe, dass jenes schwache nebelige Licht, das in ungeheuren Dimensionen die Sonne umgibt, das Zodiakallicht nämlich, sein Dasein solchen zusammengedrängten Asteroiden verdanken könne. Wie dem aber auch sei, so ist mindestens ausgemacht, dass diese Lichterscheinung von materiellen
14 Substanzen herrührt, die nach den gleichen Gesetzen, wie die Planeten u. s. w. um die Sonne sich bewegen, und es muss daher auch die ganze Zodiakallichtmasse in fortwährender Annäherung gegen die Sonne, beziehungsweise in einem Zusammenstürzen mit derselben begriffen sein.

Dieses Licht umgibt die Sonne nicht von allen Seiten gleichförmig, d. h. seine Gestalt ist nicht die einer Kugel, sondern die einer sehr plattgedrückten Linse, deren grössere Durchmesser in die Ebene des Sonnenäquators fallen, wodurch dasselbe, von der Erde aus gesehen, in Form einer aufsteigenden Pyramide sich darstellt. Eine solche linsen- oder scheibenartige Verteilung der Massen im Himmelsraume findet sich bei der Disposition der Planeten und der Fixsterne auf eine merkwürdige Weise wiederholt.

Aus der grossen Anzahl kometarischer Massen und der Asteroiden, sowie aus dem Vorhandensein der Zodiakallichtmaterie einerseits und der Existenz eines widerstandleistenden Aethers andrerseits, ergibt sich mit Notwendigkeit, dass fort und fort wägbare Substanzen auf der Sonnenoberfläche anlangen müssen. Der Effekt aber, den diese Massen dort ausüben, hängt offenbar von ihrer Endgeschwindigkeit ab, und um diese zu finden, wollen wir einige Elementarsätze der Gravitationslehre kurz erörtern.

Ein Gewicht, das auf einen Weltkörper, von dem es

angezogen wird, herabfällt, kommt mit um so grösserer Endgeschwindigkeit auf der Oberfläche des anziehenden Gestirnes an, je grösser die Höhe ist, von der aus das Gewicht seinen Fall begonnen hat. Diese Endgeschwindigkeit kann aber, wenn das Gewicht seine Bewegung nur durch Fallen erhält, eine gewisse Grösse nicht übersteigen; sie hat ein Maximum, dessen Wert von der Natur des anziehenden Himmelskörpers, nämlich von dem Volumen und der Masse desselben, abhängt.

Es sei der Halbmesser des als kugelförmig und kompakt gedachten Weltkörpers, nach Metern gezählt, $= r$, die Endgeschwindigkeit, die ein an der Oberfläche dieses Weltkörpers frei fallendes Gewicht in der ersten Sekunde erhält, sei, ebenfalls nach Metern gezählt, $= g$, so ist die grösste Geschwindigkeit, die das Gewicht durch seinen Fall gegen diesen Weltkörper erlangen kann, oder die Geschwindigkeit, mit der es nach einem Falle aus unendlicher Höhe auf der Oberfläche ankommt $= \sqrt{2gr}$ (Meter in einer Sekunde). Diese Zahl wollen wir der Kürze wegen G nennen.

Für die Erde ist $g = 9{,}8164\,..$ und $r = 6\,369\,800$. Folglich ist für dieselbe

$$G = \sqrt{2\,.\,9{,}8164\,.\,6\,369\,800} = 11183.$$

Der Sonnenhalbmesser ist 112,05 mal grösser, als der Halbmesser der Erde, die Fallgeschwindigkeit aber ist auf der Sonnenoberfläche 28,36 mal so gross als auf der Oberfläche der Erde. Folglich ist für die Sonne das Maximum der Fallgeschwindigkeit, oder

$$G = \sqrt{28{,}36\,.\,112{,}05}\,,\ 11183 = 630\,400,$$

d. h. es beträgt diese Geschwindigkeit 630 400 Meter = 85 geographische Meilen in einer Sekunde.

Mit Hilfe dieser konstanten Zahl G, welche man die Charakteristik des Sonnensystems nennen kann, lässt sich die Geschwindigkeit, die ein in Zentralbewegung begriffener Körper in irgend einem Punkte seiner Bahn besitzt, leicht auffinden. Es sei die mittlere Entfernung des planetarischen Körpers, oder die halbe grosse Achse seiner Bahn,

vom Schwerpunkte der Sonne aus gerechnet, und nach Sonnenhalbmessern gezählt $= a$, die jeweilige Entfernung vom Sonnenschwerpunkte, ebenfalls nach Sonnenhalbmessern gezählt $= h$, so ist die Geschwindigkeit, die der planeta-
rische Körper in der Entfernung h besitzt, in Metern aus-
16 gedrückt

$$= G\sqrt{\frac{2a - h}{2a\ h}}.$$

In dem Augenblicke, wo der planetarische Körper die Sonnenoberfläche trifft, ist $h = 1$, mithin ist hier seine Geschwindigkeit

$$= G\sqrt{\frac{2a - 1}{2a}}.$$

Aus dieser Formel geht hervor, dass die Geschwindigkeit, mit der ein planetarischer Körper auf der Sonne ankommt, um so kleiner wird, je kleiner die grosse Achse seiner Bahn, $2a$, ist. Diese Geschwindigkeit hat aber eben sowohl wie die grosse Achse ein Minimum, denn so lange der planetarische Körper ausserhalb der Sonne sich bewegt, kann seine grosse Achse nie kleiner als der Sonnendurchmesser, oder es kann die nach Sonnenhalbmessern gezählte Grösse $2a$ nie kleiner als 2 sein. Die denkbar kleinste Geschwindigkeit eines auf die Sonne stürzenden kosmischen Körpers ist demnach

$$= G\sqrt{\frac{1}{2}} = 445\,750,$$

oder diese Geschwindigkeit beträgt 60 geographische Meilen in 1 Sekunde.

Für diesen kleinsten Wert ist die Bahn des Asteroids kreisförmig; sie wird für grössere Werte elliptisch, bis sie endlich unter zunehmender Excentricität für einen unendlich grossen Wert von $2a$ zur Parabel wird. In diesem Falle ist die Geschwindigkeit

$$= G\sqrt{\frac{\infty - 1}{\infty}} = G,$$

oder sie ist $= 85$ Meilen in 1 Sekunde.

Die Geschwindigkeit kann noch weiter bis ins Endlose wachsen, wenn die grosse Achse einen negativen Wert erhält, oder die Bahn hyperbolisch wird. Da aber solche Fälle nur dann eintreten können, wenn kosmische Massen mit einer gewissen Wurfgeschwindigkeit in den Raum des Sonnensystemes eindringen, solche Massen ferner, wenn sie die Sonnenoberfläche einmal verfehlt haben, ohne je wiederzukehren in das All hinaussteuern, so muss eine den Wert von G übersteigende Geschwindigkeit mindestens als höchst seltene Ausnahme betrachtet werden, weshalb wir, um sicher zu gehen, nur die in einem Rahmen von 60 bis 85 Meilen eingeschlossenen Geschwindigkeiten in Betracht ziehen wollen*).

Die Endgeschwindigkeit, mit der ein lotrecht herabfallendes Gewicht auf der Sonne ankommt, wird durch die 17 Formel erhalten

$$c = G\sqrt{\frac{h-1}{h}},$$

wo c die gesuchte Endgeschwindigkeit nach Metern gezählt, und h die anfängliche Entfernung (Fallhöhe) vom Sonnenmittelpunkte aus gerechnet und nach Sonnenhalbmessern gezählt, ausdrückt. Vergleicht man diese Formel mit den vorhergehenden, so sieht man, dass eine in einer Zentralbewegung begriffene, auf der Sonne anlangende Masse die nämliche Geschwindigkeit hat, als ob diese Masse aus einer der grossen Achse ihrer Bahn gleichen Entfernung (vom Sonnenmittelpunkte aus gerechnet) lotrecht herabgestürzt wäre, woraus man zugleich ersieht, dass ein auf der Sonne ankommender planetarischer Körper mindestens so schnell sich bewegt, als ein Gewicht, das einen Sonnenhalbmesser oder 96 000 geographische Meilen hoch auf die Sonne frei herabgefallen ist.

---

*) Die relative Geschwindigkeit mit der ein Asteroid die Sonnenoberfläche trifft, hängt zum Theil auch einigermassen von der Umdrehungsgeschwindigkeit der Sonne ab. Dieses in jeder Hinsicht untergeordnete Moment kann jedoch hier ebensowohl, als ein etwaiger Rotationseffekt der stürzenden Asteroiden, ausser Acht gelassen werden.

Welches ist nun der solchen Geschwindigkeiten entsprechende Wärmeeffekt? Ist derselbe gross genug, um bei der gewaltigen Wärmeentwickelung auf jenem Gestirne in Betracht kommen zu können?

Diese entscheidende Frage lässt sich aus dem Vorangehenden leicht beantworten. Nach der am Schlusse des zweiten Kapitels gegebenen Formel ist der Wärme erregende Effekt beim Stosse

$$= 0{,}00012\, c^2 \text{ Grad},$$

wo c die Geschwindigkeit des stossenden Körpers nach Metern gerechnet ausdrückt. Da nun die Geschwindigkeit eines Asteroids beim Zusammenstossen mit der Sonne 445 750 bis 630 400 Meter beträgt, so ist der Effekt = 24 bis 48 Millionen Grad Wärme. Eine Asteroidmasse gibt also bei ihrem Sturze auf die Sonne 4000 bis 8000 mal so viel Wärme, als eine gleich grosse Menge Steinkohlen (à 6000 Kalorien) durch Verbrennen liefert!

5.

Die Entstehung der Sonnenwärme.

Fortsetzung.

Eines der grossartigsten Rätsel, die Frage nach der Ursache der krummlinigen Bahnen der Planeten, hat *Newton* gelöst und zwar, wie gesagt wird, durch Nachdenken über den Fall eines Apfels. Diese Erzählung hat nichts Unwahrscheinliches; denn wenn man sich darüber klar geworden ist, dass zwischen Klein und Gross nur ein quantitativer, kein qualitativer Unterschied besteht, wenn man, nicht Gehör gebend den Einflüsterungen einer immer regen Phantasie, in den kleinsten wie in den grössten Naturprozessen dieselben Gesetze aufsucht, dann ist man auf dem rechten Wege zur Erkenntnis der Wahrheit.

Gerade diese allgemeine Gültigkeit liegt im Wesen der Naturgesetze und ist ein Probierstein für die Richtig-

keit menschlicher Theorien. Wir beobachten den Fall eines Apfels, erforschen das dieser Erscheinung zu Grunde liegende Gesetz; an die Stelle der Erde setzen wir die Sonne, an die des Apfels einen Planeten und — wir haben den Schlüssel zur Mechanik des Himmels in den Händen.

Da nun Kleines mit Grossem zusammengestellt werden darf, so sei es gestattet, die von *Newton* befolgte Methode auch zur Lösung des Problemes von der Erzeugung der Sonnenwärme anzuwenden. Wir kennen einerseits den auf der Oberfläche der Erde herrschenden gesetzmässigen Zusammenhang zwischen Fallhöhe, Geschwindigkeit, lebendiger Kraft und Wärmeerzeugung, setzen wiederum an die Stelle der Erde die 350000 mal massenreichere Sonne, an die Stelle einer Fallhöhe von einigen Metern kosmische Höhen und finden eine alles irdische Mass übersteigende Wärmeentwickelung. Da wir nun andrerseits Gründe genug haben, einen solchen kosmisch-mechanischen Prozess als thatsächlich anzunehmen, so haben wir eine, und zwar die bis jetzt einzig haltbare, Erklärung von der Entwickelung der Sonnenwärme gefunden.

Dass die bei terrestrisch-mechanischen Prozessen erzeugte Wärme der Menge nach in der Regel weit hinter der auf chemischem Wege, durch Verbrennung, gewonnenen zurückbleibt und zurückbleiben muss, ergibt sich aus den erörterten Gesetzen von selbst und kann auf keine Weise gegen die Annahme grösserer Wärmeentwickelung bei grösseren mechanischen Prozessen geltend gemacht werden.

Es wurde gezeigt, dass ein von einer Höhe = 425 m auf die Erde herabfallendes Gewicht nur den sechstausendsten Teil der Wärme entbindet, die ein gleich grosses Gewicht Steinkohlen durch Verbrennung gibt. Ebenso gering ist die von einem Gewichte entwickelte Wärmemenge, wenn das Gewicht die nicht unbeträchtliche Geschwindigkeit = 91 m in einer Sekunde besitzt [S. 156]. Da aber nach den sicheren Gesetzen der Mechanik der Effekt dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional wächst, so muss das Gewicht, wenn es sich hundertmal schneller, oder mit einer Geschwin-

digkeit = 9000 m bewegt, einen Effekt hervorbringen, der bereits grösser ist, als der eines gleichen Gewichtes verbrennender Steinkohlen.

Freilich lässt sich eine so grosse Geschwindigkeit mit unseren Mitteln nicht hervorbringen; immerhin ist aber die Entwickelung hoher Temperaturgrade bei mechanischen Vorgängen eine Sache der stündlichen Erfahrung.

Beim Feuerschlagen erhitzen sich die durch einen leichten Stoss vom spröden Stahle losgerissenen Splitter stark genug, um in der Luft sofort zu verbrennen. — Wenige Schläge von einem gewandten Schmiede mit dem Hammer geführt vermögen ein kaltes Stück Metall an der getroffenen Stelle zum Glühen zu bringen.

Eine neugemachte Kurbel eines Dampfschiffes, welches sich durch Bewegung glatt reiben sollte, erhitzte sich dabei zum völligen Rotglühen und erforderte mehrere Kübel Wasser zur Abkühlung.

Wenn ein Eisenbahnzug eine starke Krümmung, obschon mit sehr ermässigter Geschwindigkeit, befährt, so sprühen infolge der Reibung Massen von Funken über die Schienen hin. U. s. f.

Einer von den grossartigsten Bewegungsapparaten, welche von menschlicher Kunst hergestellt worden, ist die von dem trefflichen Ingenieur *J. Rupp* vor dreissig Jahren am Pilatusberge erbaute berühmte Holzleitung, auf welcher das unbenützte Holz jener Urwälder in die Ebene hinabgelassen wurde. Die zu diesem Zwecke errichtete kolossale hölzerne Rinne hatte eine Länge von drei Stunden und die grössten Stämme gelangten in derselben binnen 2½ Minuten von der Höhe des Berges bis in die Ebene hinab. Die Gewalt, mit welcher das Holz unten anlangte, war so gross, dass Bäume, wenn sie aus der Rinne seitwärts herausgelassen wurden, mit ihrem dicken Ende 6 bis 8 m tief in den Erdboden drangen. Um eine allzugrosse Erhitzung, ein Verkohlen und Entzünden der herabschiessenden Stämme zu verhüten, musste von vielen Seiten Wasser in die Rinne geleitet werden.

Dieser gewaltige terrestrisch-mechanische Prozess ist aber, den auf der Sonne stattfindenden kosmischen Prozessen gegenüber, wahrhaft verschwindend klein zu nennen; denn dort ist es die Sonnenmasse, welche anzieht, und an die Stelle des Pilatus treten Fallhöhen von 100 000 und mehr Meilen, weshalb denn auch der Wärmeeffekt dort zum mindesten 9 millionenmal grösser ist, als hier.

Gehen Wärmestrahlen durch Glas oder andre durchsichtige Körper hindurch, so erleiden sie dabei eine Schwächung, die aber je nach der Temperaturverschiedenheit der Quelle, aus der die Strahlen fliessen, verschieden gross ist. Befindet sich die Temperatur der Wärmequelle unter der des kochenden Wassers, so werden die davon ausgehenden Wärmestrahlen auch durch die dünnste Glasplatte fast bis auf die letzte Spur zurückgehalten. Dagegen wächst die diathermane Energie der Strahlen fortwährend, wie die Temperatur der Quelle höher wird. So schwächt z. B. eine Glasscheibe die Wärmestrahlen eines dunkelrotglühenden Körpers, wenn man demselben auch noch so nahe rückt, viel stärker, als die eines weissglühenden bei viel grösserer Entfernung. Wenn man nun die Qualität der Sonnenstrahlen in dieser Rücksicht prüft, so findet man, dass diese durch ihre ausserordentliche diathermane Energie alle künstlichen Wärmestrahlen bei weitem übertreffen. Denn wenn man das Sonnenlicht in dem Brennpunkte eines konkaven Metallspiegels sammelt, und dann vor diesen Spiegel einen Glasschirm setzt, so wird dadurch die Temperatur des Brennpunktes nur sehr wenig, etwa nur um $^1/_7$ oder $^1/_8$ vermindert; stellt man aber den nämlichen Versuch mit einem künstlichen Feuer an, so findet man, dass während eine direkte Zurückwerfung vom Metallspiegel ohne Glasschirm eine starke Hitze bewirkt, nach Zwischensetzung des Schirmes eine sehr schwache, oft unmerkliche, Wärme entsteht, selbst wenn man sich dem Feuer so weit nähert, dass das Lichtbild im Brennpunkte lebhafter wird, als zuvor.

Dieses Erfahrungsgesetz, dass die raumdurchdringende Energie der Wärmestrahlen im allgemeinen zunimmt, wenn die Temperatur ihrer Quelle eine höhere wird, lehrt, dass auf der Sonnenoberfläche eine weit grössere Hitze herrschen muss, als der heftigste Verbrennungsprozess hervorzubringen vermag.

Zu dem nämlichen Resultate gelangt man auch auf andren Wegen. Stellt man sich eine um die Sonne gespannte Hohlkugel vor, so sieht man, dass die ganze Strahlenmenge, die diese Kugelfläche erhält, den Wärmestrahlen entsprechen muss, welche von der Sonnenoberfläche ausgesendet werden. Eine solche, in der Entfernung unsrer Erde um die Sonne ausgespannte, Hohlkugel hat nun bei einem 215 mal grösseren Radius eine 46 000 mal grössere Oberfläche als die Sonnenkugel, woraus folgt, dass eine in der Entfernung der Erde den Sonnenstrahlen rechtwinkelig ausgesetzte Fläche diese Strahlen in 46 000facher Verdünnung erhält. Rechnet man hinzu, dass durch die Erdatmosphäre stets ein Teil der Sonnenstrahlen absorbiert wird, so findet man, dass sich die Strahlen unsrer tropischen Mittagssonne mindestens in einer 50- bis 60 000fachen Verdünnung befinden. Diese Strahlen in einer Ausdehnung von 5 bis 6 Quadratmetern gesammelt und auf einen Quadratcentimeter konzentriert, würden eine der Sonnenoberfläche annähernd gleichkommende Temperatur hervorbringen. Eine solche Hitze wäre aber mehr hinreichend, um die strengflüssigsten Metalle zu vergasen.

Auch die im 3. Kapitel ihrer Grösse nach berechnete Ausstrahlung der Sonnenoberfläche beweist die dort herrschende enorme Hitze. Aus den oben gegebenen Grössenbestimmungen findet man nämlich, dass jedes Quadratcentimeter Sonnenoberfläche in einer Minute ca. 80 Wärmeeinheiten ausstrahlt, — eine im Vergleiche mit terrestrischen Strahlungsprozessen ganz ungeheure Grösse.

Eine richtige Theorie von dem Ursprunge der Sonnenwärme muss über den Grund und das Zustandekommen einer solchen extremen Temperatur Auskunft geben. Die

Erklärung davon geht aus dem Bisherigen von selbst hervor.

Nach *Pouillet* beträgt die Temperatur der heftigsten Weissglühhitze 1500 ° C. Die Verbrennungswärme von einem Kilogramm Wasserstoffgas beläuft sich nach den Versuchen von *Dulong* auf etwa 34500, nach den neuesten Versuchen von *Grassi* auf 34666 Wärmeeinheiten. Da sich nun ein Gewichtsteil Wasserstoff bei der Verbrennung mit acht Gewichtsteilen Sauerstoff verbindet, so gibt das Knallgas eine Verbrennungswärme von 3850 °.

Vergleicht man diese künstlichen Feuer mit der von einem auf die Sonne stürzenden Asteroide hervorgebrachten Hitze, so findet man die letztere (auch abgesehen von der im Vergleiche zum Wasser wahrscheinlich ziemlich geringen Wärmekapazität der Asteroidmassen) 6- bis 12000 mal grösser, als selbst die Hitze eines Knallgasgebläses, woraus sich denn die ausserordentliche diathermane Energie der Sonnenstrahlen, die unermesslich grosse Ausstrahlung der Sonnenoberfläche und die extreme Hitze im Focus der Brennspiegel leicht ergibt.

Aus den angeführten Thatsachen geht noch ferner hervor, dass jeder chemische Prozess — wenn man nicht für die Sonne Materien von unbekannten und unerhörten chemischen Qualitäten als einen *deux ex machina* supponieren wollte — unzureichend wäre, die Strahlung der Sonne in ihrem gegenwärtigen Stande zu unterhalten; ja, es ergibt sich sogar daraus, dass die chemische Natur der herabstürzenden Massen bei diesem grossartigen Naturprozesse fast gar nicht mehr in Betracht kommt, sofern der Effekt sich nicht um ein *pro mille* ändert, die herabfallenden Massen mögen nun aus höchst brennbaren oder aus chemisch toten Substanzen bestehen; denn wie das blendendste Licht einer künstlichen Flamme durch das in mehr als 100000facher Verdünnung befindliche Sonnenlicht verdunkelt wird, so tritt die stärkste chemische Aktion vor jenem kosmisch-mechanischen Prozesse in den Hintergrund.

Die aus der Temperatur der Sonne resultierende Qua-

lität ihrer Strahlen ist für uns Erdenbewohner von grosser Wichtigkeit. Wäre die Ursache der Sonnenwärme nichts weiter als ein chemischer Prozess, und beliefe sich die Temperatur an der Quelle nur auf einige tausend Grade, so könnte der Erdboden zwar wohl durch die Sonne erleuchtet werden, das Wichtigste aber, die Wärme, würde zum grossen Teile von den oberen Schichten der Atmosphäre absorbiert und in den Weltraum wieder zurückgesendet. Vermöge der hohen Temperatur der Wärmequelle aber ist die Atmosphäre der Erde für die Wärmestrahlen der Sonne ausgezeichnet diatherman, und somit setzen sich diese Strahlen grossenteils als freie Wärme an der soliden Oberfläche der Erde ab. Bei der relativ sehr niederen Temperatur dieser Oberfläche nun vermag die Bodenwärme nicht so leicht wieder rückwärts die Atmosphäre strahlend zu durchdringen und in den Weltraum auszuströmen. Es bildet also die Atmosphäre eine Hülle, welche dem Eindringen der Sonnenstrahlen einen geringen, dem Ausstrahlen der Erdwärme aber einen grossen Widerstand entgegensetzt und, wie ein nach unten sich öffnendes, nach oben sich schliessendes Ventil, die Wärme auf der Erdoberfläche zusammenhält.

Für die meteorologischen Prozesse und die klimatischen Verhältnisse unsers Planeten ist dieser Umstand von hoher Bedeutung. Denn da der luftförmigen Bekleidung des festen Erdkörpers für die Sonnenstrahlen eine grosse, für die relativ sehr kalte Erdoberfläche aber eine geringe Diathermansie zukommt, so muss durch diese Umhüllung die mittlere Temperatur der Erdoberfläche sehr erhöht werden. Denkt man sich die Atmosphäre von der Erde weggenommen, so würde die Temperatur des Erdbodens nach Sonnenuntergang und im Schatten schnell zur intensivsten Kälte — zur Temperatur des Weltraumes — herabsinken, und selbst zwischen den Wendekreisen würde die Mittagssonne nicht mehr hinreichen, das zu Felsen erstarrte Wasser zu erweichen.

Zwischen dieser Kälte, welche aller Orten und zu allen Jahres- und Tageszeiten nach Wegnahme der Atmosphäre herrschen würde, und der durch die wirkliche Existenz

der Atmosphäre bedingten gemässigten Temperatur lassen sich nun Uebergänge denken, welche durch eine allmähliche Verdünnung der Atmosphäre vermittelt werden, wobei man leicht sieht, dass die mittlere Temperatur der Erde in dem Masse abnehmen müsste, als ihre Atmosphäre verdünnt würde. Eine solche Verdünnung der luftförmigen, die Sonnenwärme klappenartig zurückhaltenden Umhüllung tritt aber mit der Elevation über den Meeresspiegel wirklich ein und ist deswegen auch mit einer entsprechenden Wärmeabnahme notwendig verknüpft.

Diese allbekannte Thatsache der geringeren mittleren Wärme höher gelegener Orte hat zu den sonderbarsten Hypothesen Veranlassung gegeben. Es sollten die Sonnenstrahlen an und für sich nicht die vollständigen Bedingungen der Wärmeentwickelung enthalten, vielmehr sollte durch diese Strahlen nur der an die Erde gebundene Wärme„stoff“ in Bewegung gesetzt oder erwärmt werden. Der von der Erde durch Anziehung festgehaltene, ruhende oder kalte Wärme„stoff“ finde sich vornehmlich in der Tiefe angesammelt, weshalb denn die wärmeerregende Kraft der Sonnenstrahlen auf hohen Bergen so gar gering sei, und woraus sich nebenbei auch ganz gut erklären lasse, warum die Sonne ihrer beständigen Strahlung unerachtet nicht erkalte.

Dieser namentlich unter Laien vielverbreitete und schwer auszurottende Glaube wird durch die vortrefflichen pyrheliometrischen Versuche, welche *Pouillet* auf verschiedenen Höhen angestellt hat, direkt widerlegt. Es ergibt sich nämlich aus diesen Versuchen, dass die Wärmeentwickelung durch die Sonnenstrahlen unter sonst gleichen Umständen in der Höhe in der That stärker ist, als in der Tiefe, und dass also ein Teil der Sonnenstrahlen samt ihrer wärmeerregenden Kraft beim Durchgange durch die Atmosphäre allerdings absorbiert wird. Warum aber die nieder gelegenen Gegenden trotz der minderen Wärmezufuhr höher temperiert sind, als die hoch gelegenen, davon liegt der Grund darin, weil in der Tiefe das Ausstrahlen in noch höherem Grade vermindert ist, als das Einstrahlen.

6.

Die Unveränderlichkeit der Sonnenmasse.

Bekanntlich hielt *Newton* das Licht für eine von der Sonne in das Weltall ausströmende materielle Substanz. Konsequent dieser Ansicht, erblickte dieser grosse Naturforscher in dem Ausstrahlen von Licht einen Grund zur fortwährenden Verminderung der Sonnenmasse, nahm aber, um diesen Verlust zu decken, einen sich stets wiederholen-
18 den Sturz kometarischer Materien auf den Centralkörper an.

Kleiden wir diese *Newton*sche Lehre in das Gewand der jetzt herrschenden Vibrationstheorie, so erhalten wir die im vorangehenden entwickelten Lehrsätze. Zwar nimmt diese Theorie keinen specifischen Licht„stoff", keinen Wärme„stoff" u. s. w. mehr an, nichtsdestoweniger besteht aber auch nach ihr das Strahlen von Licht und Wärme in einem rein materiellen Vorgange, in einer Bewegung, einem Erzittern ponderabler, widerstandsleistender Substanzen. Ruhe ist Nacht und Tod, Bewegung gibt Licht und Leben.

Eine von einem Punkte oder einer Fläche aus in einem unbegrenztem Medium erregte, undulierende Bewegung lässt sich aber nicht denken ohne eine gleichzeitige fortschreitende Bewegung, einem Fortgedrängtwerden der vibrierenden
19 Massenteile*), und es liegt also nach der Vibrationstheorie nicht weniger, als nach der Emanationstheorie in dem Strahlen der Sonne ein Grund zu einer fortwährenden Massenverminderung dieses Fixsternes. Warum aber demungeachtet die Sonnenmasse nicht eine wirkliche Abnahme erleidet, davon wurde ein genügender Grund bereits angegeben.

Das Strahlen der Sonne ist die einer centripetalen Bewegung äquivalente centrifugale Aktion.

Der wärmegebende Effekt der centrifugalen Sonnen-

---

*) Diese centrifugale Bewegung übt vielleicht jenen repulsiven Einfluss auf die Kometenschweife aus, den *Bessel* in der Nähe der Sonne wahrgenommen hat.

thätigkeit kann durch unmittelbare Wahrnehmung aufgefunden werden. Nach Kapitel 3 beträgt derselbe in einer Minute 12 650 Millionen Grosskalorien oder 5,17 Quadrillionen Wärmeeinheiten. Da nun, wie im 4. Kapitel gezeigt wurde, 1 kg Asteroidmasse 24 bis 48 Millionen Wärmeeinheiten gibt, so folgt daraus, dass die Quantität der auf die Sonne niederstürzenden kosmischen Materien in jeder Minute zwischen 100 000 bis 200 000 Billionen Kilogramm betragen muss.

Um zu diesem bemerkenswerten Resultate zu gelangen, bedienten wir uns eines in der Naturforschung häufig zur Anwendung gebrachten Verfahrens. Durch Beobachtung des Mondlaufes verschaffen wir uns Aufschluss über die äussere Gestalt unsrer Erde; mit der Drehwage bestimmt der Physiker das Gewicht eines Planeten, wie der Kaufmann ein Kollo abwägt, und das Pendel ist dem Geologen zur Wünschelrute geworden, womit er tief im Bauche der Erde gelegene Höhlungen zu entdecken vermag. So auch hier. Durch Beobachtung und Berechnung der Schallgeschwindigkeit in unsrer Atmosphäre wird der Exponent des Verhältnisses der Wärmekapazitäten der Gase unter gleichem Drucke und unter gleichem Volumen gefunden und mittelst dieses Exponenten die durch irgend eine mechanische Arbeit, z. B. durch das Herabfallen eines Gewichtes produzierte, Wärmemenge bestimmt. Aus der Wärme ferner, welche die Sonne auf einer kleinen Fläche unsres Erdbodens in einer gewissen Zeit erregt, wird der ganze strahlende Effekt der Sonne berechnet, und das Fazit einer Reihe von Beobachtungen und gesicherten Schlüssen ist die quantitative Bestimmung der kosmischen Massen, welche die Sonne aus dem Raume erhält, den sie mit ihren Strahlen erleuchtet.

Nach dem Massstabe irdischer Verhältnisse gemessen, erscheint die gefundene Zahl von so vielen Billionen in jeder Minute ganz unglaublich gross. Dieselbe lässt sich aber unserm Vorstellungsvermögen näher bringen, wenn man sie mit andern kosmischen Grössen vergleicht. Das uns zunächst gelegene Gestirn, der Mond, hat eine Masse von etwa 90 000 Trillionen Kilogramm; dieser kleine Himmels-

körper würde folglich hinreichen, den Verbrauch der Sonne 1—2 Jahre lang zu decken. Die Masse der Erde aber wäre über 50 bis 100 Jahre lang im stande, die nötige Nahrung für die Sonnenstrahlung abzugeben.

Zur Versinnlichung der Massen- und Entfernungsverhältnisse des Planetensystemes geben wir nach *Herschel* folgendes Bild. Als Sonne stelle man sich eine Kugel von 1 Meter Durchmesser vor. In einer Entfernung von 40 Meter befindet sich der nächste Planet, Merkur, in der Grösse eines Pfefferkornes von 3½ Millimeter Dicke. 78 und 107 Meter von der Sonne entfernt bewegen sich Venus und Erde, beide 9 Millimeter dick oder etwas mehr als erbsengross. Von der Erde nicht viel über ¼ Meter entfernt ist der Mond ein Senfkorn von 2½ Millimeter Durchmesser. Mars hat in einer Entfernung von 160 Meter etwa den halben Durchmesser der Erde, und die kleineren Planeten, Vesta, Hebe, Asträa, Juno, Pallas, Ceres etc., gleichen Sandkörnern, in einer Entfernung von 250 bis 300 Meter von der Sonne. Jupiter und Saturn, in Entfernungen von 560 und 1000 Meter, gleichen Orangen von 10 und 9 Centimeter Dicke. Uranus, mit einem Durchmesser von 4 Centimeter, einer Baumnuss ähnlich, ist 2000 Meter, und der einem Apfel von 6 Centimeter Durchmesser vergleichbare Neptun, nahe doppelt soviel, oder etwa ½ geographische Meile weit, von der Sonne entfernt. Von da an hätte man aber noch einen Raum von mehr als 2000 Meilen bis zum nächsten Fixsterne zurückzulegen.

Dieses Bild zu ergänzen, hat man sich nun noch eine verschieden gruppierte, äusserst fein verteilte Materie vorzustellen, die sich allmählich gegen die grosse Kugel im Mittelpunkte hinzieht um dort niederzufallen, und die, von dieser Kugel aus günstig erleuchtet, sonnenstaubartig das Zodiakallicht darstellt. Auch dieser Staub bildet ein wichtiges Glied in einer Schöpfung, wo nichts von ungefähr, sondern alles mit göttlicher Zweckmässigkeit geordnet ist.

Die Oberfläche der Sonne beträgt 115 000 Millionen Quadratmeilen oder 6 1/3 Trillionen Quadratmeter. Da nun das Quantum der in 1 Minute auf die Sonne stürzenden Asteroidmassen 100 000 bis 200 000 Billionen Kilogramm beträgt, so folgt hieraus für 1 Quadratmeter Sonnenoberfläche eine Massenzunahme von durchschnittlich 17 bis 34 Gramm per Minute.

Um diesen Vorgang mit einer naheliegenden terrestrischen Erscheinung zu vergleichen, erinnere man sich, dass ein schwacher Regen in einer Stunde eine 1 Millimeter hohe Wasserschicht gibt (während starke Gewitterregen leicht das 10 bis 15fache Quantum liefern), welches für 1 Quadratmeter Oberfläche in einer Minute 17 Gramm ausmacht.

Durch dieses fortwährende Herabhageln kosmischer Stoffe müsste, wenn der centrifugale Prozess für sich allein bestände, sowohl das Volumen als das Gewicht der Sonne vermehrt werden. Die Zunahme des Volumens könnte aber nur auf eine für uns völlig unmerkliche Weise erfolgen; denn zur Vermehrung des scheinbaren Durchmessers der Sonne um eine einzige Bogensekunde (der kleinsten bemerkbaren Grösse) wären, wenn man das specifische Gewicht der kosmischen Massen durchschnittlich dem der Sonne gleich setzt, 28 500 bis 57 000 Jahre erforderlich.

Nicht so unbemerkt könnte die Gewichtszunahme der Sonne vor sich gehen. Da sich nämlich die Umlaufsgeschwindigkeiten der Planeten bei gleichbleibender mittlerer Entfernung verhalten wie die Quadratwurzeln aus den Massenzahlen des Centralkörpers, so ergibt sich aus einer Gewichtszunahme der Sonne zugleich eine Beschleunigung der Planetenbewegungen oder eine Verkürzung ihrer Umlaufszeiten. Da die Masse der Sonne 2,1 Quinquillionen Kilogramm beträgt, so verhält sich die Masse der binnen Jahresfrist auf der Sonne anlangenden Stoffe zur Masse der ganzen Sonne, wie 1 zu 18 bis 36 Millionen, und diese Zunahme für sich allein müsste also eine jährliche Verkürzung des siderischen Jahres um 1/36 bis 1/70 Millionenteil seiner Länge, oder um 7/8 bis 1/2 Zeitsekunde herbeiführen.

Eine solche Abnahme der Länge des siderischen Jahres stimmt aber mit den Beobachtungen der Astronomen keineswegs überein; wir werden deshalb wieder auf die im Eingange dieses Kapitels aufgestellte Theorie zurückgeführt, dass die Sonne, dem Weltmeere ähnlich, in einem beständigen Wechsel von Zu- und Abfluss sich unverändert erhält, was mit der Annahme von einem Konstantbleiben der Summe aller lebendigen Kräfte im Universum harmoniert.

7.

Die Sonnenflecken.

Der jüngere *Herschel* entwirft von der Sonnenoberfläche folgendes Bild:

„Wenn man die Sonne durch starke Fernröhren betrachtet, die mit farbigen Gläsern versehen sind, um die Hitze und den Glanz zu beseitigen, die sonst unsre Augen verletzen würden, so bemerkt man häufig grosse und ganz schwarze Flecken auf derselben, welche mit einer Art von Rand umgeben sind, der nicht so dunkel ist und ein Halbschatten genannt wird. Diese Flecken sind indessen nicht beständig und unveränderlich. Wenn man sie von Tag zu Tag, oder selbst von Stunde zu Stunde beobachtet, so sieht man sie grösser werden oder sich zusammenziehen, ihre Form verändern und endlich ganz verschwinden, oder von neuem an Stellen der Oberfläche hervorbrechen, wo zuvor keine waren. In den Fällen des Verschwindens zieht sich der mittlere dunkle Fleck immer in einen Punkt zusammen und verschwindet früher als der Rand. Zuweilen brechen sie auf, oder teilen sich in zwei oder mehrere und bieten alsdann in diesen alle Merkmale jener grossen Beweglichkeit dar, welche nur dem flüssigen Zustande angehört, und jener ausserordentlichen Unruhe, die nur mit dem atmosphärischen oder gasförmigen Zustande des Stoffes verträglich zu sein scheint. Der Massstab, nach welchem

ihre Bewegungen stattfinden, ist unermesslich. Eine einzige Bogensekunde, von der Erde aus gesehen, entspricht auf der Sonnenscheibe 465 englischen Meilen; und ein Kreis von diesem Durchmesser, welcher deshalb beinahe 220 000 englische Quadratmeilen enthält, ist der kleinste Raum, den man auf der Sonne als eine sichtbare Fläche deutlich erkennen kann. Es sind indessen Flecke beobachtet worden, die einen Lineardurchmesser von mehr als 45 000 englischen Meilen hatten, ja selbst von noch weit grösserem Durchmesser, wenn man einigen Nachrichten trauen darf. Damit ein solcher Fleck sich binnen 6 Wochen gänzlich schliesse (denn sie dauern kaum jemals länger), müssen seine Ränder sich täglich um mehr als 1000 englische Meilen einander nähern.

„Derjenige Teil der Sonnenscheibe, welcher keine Flecken hat, ist darum bei weitem noch nicht gleichförmig glänzend. Der Grund desselben ist fein gesprenkelt mit sehr kleinen dunkeln Punkten, Poren, die bei aufmerksamer Betrachtung in einem Zustande beständiger Veränderung gefunden werden. Es gibt nichts, was diese Erscheinung so treu darstellt, als das langsame Niedersinken einiger flockigen, chemischen Präcipitate in einer durchsichtigen Flüssigkeit, wenn man dieselben senkrecht von oben herab betrachtet. Diese Darstellung ist überhaupt so treu, dass es kaum möglich ist, nicht auf den Gedanken zu kommen, dass ein leuchtendes Medium mit einer durchsichtigen und nicht leuchtenden Atmosphäre untermengt, aber nicht gemischt sei, und entweder in derselben, gleich den Wolken in unsrer Luft, schwimmen, oder sie in ausgedehnten Flächen und in flammenartigen Säulen oder nordlichtähnlichen Ausstrahlungen durchdringen.

„Endlich bemerkt man in der Nähe grosser Flecke oder ausgebreiteter Gruppen derselben oft weite Räume der Oberfläche mit stark gezeichneten, gekrümmten oder in Zweige auslaufenden Strichen bedeckt, die weit glänzender sind, als die übrigen Teile. Es sind dieses die sogenannten Sonnenfackeln, zwischen welchen häufig dergleichen Flecken

entstehen, wenn sie nicht bereits vorhanden sind. Man kann sie mit grosser Wahrscheinlichkeit vielleicht als die Kämme unermesslicher Wogen in den Lichtregionen der Sonnenatmosphäre betrachten, die eine heftige Bewegung in ihrer Nachbarschaft anzeigen."

Soweit *Herschel*. Die auf der Oberfläche der Sonne wahrnehmbaren Revolutionen deuten offenbar auf das Eindringen einer äusseren Gewalt hin, indem sich sonst jede der Sonne inwohnende bewegende Kraft durch ihre Aktionen zuletzt erschöpfen müsste, und es sind dieselben somit kein unwichtiger Beleg für die im Bisherigen vorgetragene Theorie.

Inzwischen liegt es in der Natur der Sache, dass wir von der physischen Heliographie nur geringe Kenntnisse besitzen können; bietet uns doch unser eigener Planet in seinen meteorischen Prozessen u. s. w. noch so viel Rätselhaftes dar. Aus diesem Grunde lässt sich denn etwas Näheres über die Art und Weise, wie die Sonnenoberfläche durch die eindringenden kosmischen Massen, die uns ihrer Natur nach selbst wieder grösstenteils unbekannt sind, erregt wird, nicht wohl angeben; doch möge es erlaubt sein, einige naheliegende Vermutungen hierüber zusammenzustellen.

Bei der auf der Sonne herrschenden ausserordentlich hohen Temperatur kann dort an eigentliches Festland nicht gedacht werden, vielmehr stellt ohne Zweifel die ganze Sonnenoberfläche nur einen ununterbrochenen Ozean feurigflüssiger Materien dar. Auf diesem Ozean liegt eine Schichte glühender Gase, eine Flammenatmosphäre, Photosphäre, deren Existenz *Arago* aus den Eigenschaften des Sonnenlichtes nachgewiesen hat. Diese elastisch-flüssige Hülle setzt sich in immer grösserer Verdünnung nach oben hin in den Aether fort.

Da die meisten Materien Neigung haben, bei gewissen hohen Temperaturgraden Gasform anzunehmen, so kann die Höhe der Sonnenatmosphäre nicht unbeträchtlich sein. Es sind aber gute Gründe vorhanden, welche an eine relativ grosse Ausdehnung dieser Atmosphäre dennoch nicht glauben lassen.

Da nämlich die Schwere auf der Sonnenoberfläche 28mal grösser ist, als auf der Oberfläche der Erde, so übt eine und dieselbe Luftsäule dort einen 28mal grösseren Druck aus, als hier. Dieser grössere Druck beschränkt aber insoweit die Ausdehnung der Luftsäule, dass er einer Temperaturerhöhung von nahe 8000° das Gleichgewicht hält.

Noch viel mehr als diese grössere Schwere kommen aber die den elastischen Flüssigkeiten eigentümlichen Raum- und Druckverhältnisse in Betracht, vermöge derer die Verdünnung oder Verdichtung dieser Materien mit zunehmender Höhe oder Tiefe sehr rasch wächst. Im allgemeinen steigt nämlich die Verdünnung in einer geometrischen Progression, wenn die Höhe in einem arithmetischen Verhältnisse zunimmt. Auf der Erde entspricht einer Höhe oder Tiefe von ungefähr $2^1/_2$, von 5 und von 30 Meilen, beziehungsweise eine 10malige, 100malige und billionenmalige Verdünnung oder Verdichtung der Atmosphäre.

Dieses Gesetz, wiewohl modifiziert durch die in den verschiedenen Schichten der Photosphäre herrschenden bedeutenden Temperaturverschiedenheiten und durch die uns unbekannte*) chemische Natur jener Materien, muss auch für die Sonne eine beiläufige Gültigkeit haben. Da indessen die mittlere Temperatur der Sonnenatmosphäre weit höher sein muss, als die der Erdatmosphäre, so wird auch die Dichtigkeit der Sonnenatmosphäre mit der Höhe und Tiefe weniger schnell ab- und zunehmen, als dieses auf der Erde der Fall ist. Nehmen wir nun an, dass auf der Sonne diese Ab- und Zunahme selbst 10mal langsamer erfolge, als auf der Erde, so ergibt sich daraus für eine Höhe von 25, von 50 und von 300 Meilen beziehungsweise eine 10fache, eine 100fache und eine billionenfache Verdünnung. Daraus folgt aber, dass die Höhe der Sonnenatmosphäre keine 400 geographische Meilen, oder nicht $^1/_{240}$ des Sonnenhalbmessers, betragen kann. Denn setzt man auch die Dichtigkeit der Sonnenatmosphäre an ihrer unteren Grenze

---

*) Geschrieben im Jahr 1848.

1000mal grösser, als die der Erdatmosphäre an der Meeresfläche, also grösser als die Dichtigkeit des tropfbarflüssigen Wassers, was doch notwendig schon zu gross ist, so ist die Atmosphäre der Sonne in einer Höhe von 400 Meilen schon 10billionenmal dünner als die Erdatmosphäre, d. h. sie hat dort nach menschlichen Begriffen zu sein aufgehört.

Aus dieser Betrachtung geht hervor, dass die Sonnenatmosphäre im Vergleiche mit der Ausdehnung des Sonnenkörpers nur eine geringe Höhe haben kann, und zugleich lässt sich daraus entnehmen, dass auf der Sonnenoberfläche, der grossen Hitze ungeachtet, unter einem viele tausend Erdatmosphären betragenden Drucke möglicherweise Wasser und ähnliche flüchtige Materien in tropfbarflüssigem Zustande sich befinden können.

Da die Luftarten, wenn sie nicht mit festen Partikeln untermengt sind, auch bei sehr hoher Temperatur meist nur ein schwaches, durchsichtiges Licht, — ein sogenanntes *lumen philosophicum* — geben, so stammt wahrscheinlich das blendend weisse Sonnenlicht hauptsächlich von dem solideren Teile der Sonnenoberfläche her. Nimmt man dieses an, so wird man von selbst darauf geführt, die Entstehung der Sonnenflecken und Fackeln darin zu suchen, dass durch höchst gewaltsame meteorische Prozesse, zu welchen auf der Sonne alles Material vorhanden ist, und zum Teil wohl auch durch die unmittelbare Einwirkung ganzer Asteroidenschwärme u. s. w., der lichtgebende Ozean einerseits in seinen Tiefen aufgewühlt, andrerseits zu Bergen aufgetürmt wird. Die auf solche Weise blossgelegten tieferen und mehr abgekühlten Schichten des Sonnenkörpers mögen uns dann als Flecken, die aufgeworfenen Gebirge aber als Fackeln erscheinen.

Dass die von den Flecken ausgehenden Strahlen in geringerem Grade wärmeerregend sind, als die Strahlen von helleren Teilen der Sonnenscheibe, scheint durch die hierüber von einem nordamerikanischen Physiker, *Henry*, angestellten Versuche bewiesen zu sein.

Noch ist des merkwürdigen Umstandes Erwähnung zu thun, dass die Flecken in eine Zone eingeschlossen erscheinen, die sich etwa auf 30° zu beiden Seiten des Sonnenäquators erstreckt. Der Gedanke liegt nahe, jene solaren, die Flecken und Fackeln bedingenden Prozesse sowohl mit der Rotationsgeschwindigkeit der Sonnenoberfläche, als auch mit den aus der Zodiakallichtwolke niederstürzenden Massen in einen ursächlichen Zusammenhang zu bringen und hieraus die Beschränkung der Sonnenflecken auf die Aequatorialzone abzuleiten. Dabei bleibt es jedoch immer noch rätselhaft, mit welchen Mitteln die Natur die den Polarzonen wie der Aequatorialgegend zukommende Gleichförmigkeit des Ausstrahlungsvermögens der Sonne bewirkt hat.

8.

Die Ebbe und Flut. 21

Das Strahlen der Sonne ist der letzte Grund von fast allen lebendigen Kraftäusserungen und Bewegungen auf der Erdoberfläche. Jedoch machen einige Prozesse hiervon eine merkwürdige Ausnahme.

Unter diese gehört die Ebbe und Flut. Diese Naturerscheinung, über welche *Newton, Laplace* u. v. A. herrliche und in vieler Hinsicht erschöpfende Untersuchungen angestellt haben, verdankt bekanntlich ihre Entstehung einer- 22
seits der Anziehung, welche Mond und Sonne auf die beweglichen Teile der Erdoberfläche ausüben, andrerseits aber der Achsendrehung der Erde.

Die abwechselnde Erhebung und Senkung des allgemeinen Wasserspiegels, das Fluten und Ebben des Meeres, lässt sich mit dem Steigen und Fallen eines unter dem Einflusse der Erdanziehung schwingenden Pendels vergleichen.

Ein solches Instrument, das fortwährend einen, wenn auch noch so geringen, Widerstand erleidet — ein sogenanntes physisches Pendel — nimmt entweder in seinen Exkursionen beständig ab, oder es bedarf, wenn es gleichförmig fort-

schwingen soll, einer beständigen, dem Widerstande entsprechenden Zufuhr von lebendiger Kraft.

Eine solche Zufuhr wird bei den Pendeluhren durch ein aufgewundenes Gewicht oder durch eine gespannte Feder erzielt. Die bewegende Kraft, welche zum Heben des Gewichtes oder zur Spannung der Feder verbraucht wird, und welche nun in dem gehobenen Gewichte oder der gespannten Feder repräsentiert ist, bewältigt eine Zeitlang die vorhandenen Widerstände und bewirkt dadurch einen gleichmässigen Gang des Pendels und der Uhr. Dabei sinkt aber das Gewicht herunter, oder die Feder spannt sich ab, und es muss daher die Uhr unter einem Aufwande von bewegender Kraft von neuem aufgezogen werden, oder sie steht stille.

Das Gleiche gilt im wesentlichen auch von der Ebbe und Flut. Indem sich die bewegten Wasserteile unter sich und an ruhenden Wasserteilen, an den Meeresufern und der Atmosphäre reiben, erfahren sie einen beständigen Widerstand und würden in kurzer Zeit zur Ruhe kommen, wenn nicht durch eine lebendige Kraft die vorhandenen Widerstände allezeit wieder von neuem überwältigt würden. Diese lebendige Kraft, deren Abnahme und endliche Erschöpfung durch die vorhandene Aktion bedingt wird, ist der Rotationseffekt der Erde.

In der Erregung von Ebbe und Flut liegt also ein Grund zu einer Verminderung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde.

Dieser wichtige Satz lässt sich auf verschiedene Arten beweisen.

Durch den Einfluss der Mond- und Sonnenanziehung wird das Gleichgewicht der beweglichen Teile auf der Erdoberfläche gestört, so dass die Gewässer des Meeres gegen den Punkt oder den Meridian hinstreben, über und unter dem der Mond kulminiert. Hätten die Wasserteile eine vollkommene und widerstandslose Beweglichkeit, so würden die Gipfel des oberen und unteren Flutberges genau in den Meridian fallen, in welchem der Mond steht, und es würde unter diesen Umständen keine lebendige Kraft verbraucht.

Da aber in der Wirklichkeit die Wasserteile einen Widerstand in ihrer Bewegung erfahren, so wird dadurch eine Verspätung der Flut herbeigeführt, so dass in hoher See durchschnittlich erst ungefähr 2½ Stunden nach dem Durchgange des Mondes durch den Meridian eines Ortes hohes Wasser eintritt.

Während die Gewässer von Ost und von West dem unter dem Monde gelegenen Meridiane zustreben, der Wasserstand aber aus dem genannten Grunde im Osten allezeit höher ist, als im Westen, so muss das Meerwasser notwendig ungleich stärker von Ost nach West, als von West nach Ost drängen und fliessen. Die Ebbe und Flut besteht also nicht allein in einem abwechselnden Steigen und Sinken der Wasserteile, sondern auch in einem, wiewohl langsamen, Fortschreiten der Gewässer von Ost nach West. Die Ebbe und Flut bewirkt einen allgemeinen Weststrom des Ozeans.

Da die Richtung dieser Strömung der Erdrotation gerade entgegengesetzt ist, so übt das Meerwasser durch die allerorten stattfindende Reibung und durch den Stoss gegen die festen Wandungen des Meeres einen beständigen Widerstand gegen die Umdrehungsbewegung der Erde aus und vermindert dadurch die lebendige Kraft dieser Bewegung.

Die Erde spielt hier die Rolle eines Schwungrades. Die beweglichen Teile auf der Oberfläche werden, da sie an dem relativ feststehenden Monde gewissermassen adhärieren, in einer der Erdrotation entgegengesetzten Richtung fortgezogen, wodurch einerseits zwischen den festen und flüssigen Teilen dieses Schwungrades Aktionen hervorgerufen und Widerstände überwältigt werden, andrerseits aber der gegebene Rotationseffekt notwendig eine entsprechende Verminderung erfährt.

Man hat die durch die Gezeiten hervorgerufenen Meeresströmungen zum Betriebe von Wasserrädern benutzt. Solche Werke unterscheiden sich auf eine merkwürdige Weise von den gewöhnlichen Flussmühlen, indem diese die lebendige Kraft, mit der sie arbeiten, dem strahlenden Effekte der

Sonne, jene aber dem Rotationseffekte der Erde zu verdanken haben.

Verschiedene Ursachen tragen dazu bei, die Gewässer des Ozeans in einer immerwährenden, teils undulierenden, teils fortschreitenden Bewegung zu erhalten. Ausser dem soeben erwähnten Einflusse des Mondes und der Sonne auf die rotierende Erde gehört insbesondere der Einfluss hierher, den die Bewegungen der untersten Luftschichten auf die Meeresoberfläche ausüben; ferner die verschieden grosse Erwärmung des Meerwassers in den verschiedenen Zonen; endlich ist auch noch die Konfiguration der Beckenwandungen, des Meeresgrundes und der Küsten von mannigfaltigem Einflusse auf die Geschwindigkeit, die Richtung und die Ausdehnung der Meeresströmungen.

Auch die in der elastisch-flüssigen Hülle unsres Planeten stattfindenden Bewegungen setzen, ebenso wie die Bewegungen der Gewässer, das Vorhandensein und den Verbrauch einer lebendigen Kraft voraus, wodurch die allezeit vorhandenen Widerstände überwältigt und einem Gleichgewichtszustande oder einem Zustande der Ruhe entgegengewirkt wird. Es kann aber die zur Erregung der Luftströmungen erforderliche Arbeit im allgemeinen selbst wieder dreifachen Ursprungs sein. Sie kann entweder von dem strahlenden Effekte der Sonne, oder von der ausströmenden inneren Erdwärme, oder endlich von dem Rotationseffekte der Erde herrühren.

Unter diesen Ursachen kommt in quantitativer Hinsicht der Sonne eine bei weitem überwiegende Bedeutung zu. Nach den Messungen *Pouillets* erhält nämlich (siehe oben Kapitel 3) ein Quadratmeter Erdoberfläche durchschnittlich in einer Minute 4,408 Wärmeeinheiten von der Sonne. Da nun (siehe oben Kapitel 2) eine Wärmeeinheit einer mechanischen Arbeit von 425 Kilogrammmetern äquivalent ist, so kommt auf ein Quadratmeter Erdoberfläche eine Arbeitszufuhr von 1876 mk per Minute; oder in der nämlichen Zeit auf die ganze Erde eine Zufuhr von 955 000 Billionen mk. Eine Arbeit = 75 mk per Sekunde pflegt man

eine Pferdekraft zu nennen. Hiernach wäre der Effekt der Sonnenstrahlen nach mechanischer Arbeit berechnet für ein Quadratmeter Erdoberfläche = 0,417, und der Totaleffekt für die ganze Erde = 200 Billionen Pferdekräfte. Ein nicht unerheblicher Teil dieser enormen Quantität von lebendiger Kraft wird zur Hervorbringung atmosphärischer Aktionen verbraucht, wodurch eine Menge, zum Teil sehr lebhafter, Bewegungserscheinungen in dem Dunstkreise der Erde hervorgerufen werden.

Der grossen Mannigfaltigkeit der durch die Sonne hervorgerufenen meteorischen Prozesse unerachtet lässt sich doch ein einfacher Grundtypus der Luftströmungen feststellen. Infolge der ungleichförmigen Erwärmung der Erde unter den verschiedenen Breitegraden dringt nämlich allezeit die kältere und deshalb schwerere Luft der Polargegenden in einer unteren Strömung gegen den Aequator hin, während dagegen in der Aequatorialzone die erwärmte Luft in die Höhe steigt und in einer oberen Strömung wieder gegen die Pole abfliesst, so dass auf solche Weise die Luft auf jeder Halbkugel einen förmlichen Kreislauf beschreibt.

Diese Luftströmungen werden aber bekanntlich durch die Achsendrehung der Erde wesentlich modifiziert, so dass die vom Pole gegen den Aequator fliessende Luft vermöge der ihr eigentümlichen geringeren Rotationsgeschwindigkeit eine der Umdrehung der Erde entgegengesetzte, von Ost nach West gehende, die vom Aequator gegen die Pole hinziehende Luft aber im Gegenteile eine der rotierenden Erde vorauseilende, von West nach Ost gehende Bewegung erhält. Durch die erstere dieser Strömungen, durch die östlichen Winde, muss nun offenbar der Rotationseffekt der Erde vermindert, durch die letztere aber, oder durch die westlichen Winde, vermehrt werden. Das Gesamtresultat dieser entgegengesetzten Einflüsse ist aber nach bekannten mechanischen Prinzipien für die Achsendrehung der Erde mathematisch genau = 0, so dass diese Strömungen zusammen, weil sie sich gegenseitig das Gleichgewicht halten, auf die Achsendrehung der Erde nicht den geringsten Ein-

fluss äussern können. Dieser wichtige Satz ist von *Laplace*
23 durch einen in das Einzelne gehenden Kalkul bewiesen worden.

Das nämliche Gesetz gilt aber auch ganz allgemein für jede denkbare Aktion, sei es in der Luft, sei es zu Wasser oder auf dem Lande, die durch den strahlenden Effekt der Sonne, oder auch durch die aus dem Innern der Erde zur Oberfläche gelangende Wärme hervorgerufen wird. Jede einzelne, auf solche Art erregte Bewegung, wenn sie auch für sich allein einen Einfluss auf die Erdrotation ausüben würde, wird durch eine korrespondierende, aber in entgegengesetzter Richtung wirkende, Bewegung genau kompensirt, so dass die Summe aller dieser Wirkungen, oder die sogenannte resultierende Mittelkraft, für die Erdrotation immer $= 0$ bleibt.

Bei denjenigen Aktionen aber, die man unter dem Namen der Ebbe und Flut begreift, findet eine solche Kompensation nicht statt; denn der diese Aktionen erregende Druck oder Zug ist allezeit vorherrschend von Ost nach West gerichtet, so dass, wenn auch die durch diesen Druck hervorgerufenen Störungen in verschiedenen Richtungen hin und her fluten, doch allezeit die der Erdrotation entgegengesetzte Richtung die überwiegende ist.

Die Geschwindigkeit der durch die Ebbe und Flut der Atmosphäre bewirkten Luftströmung beträgt nach *Laplaces*
24 Berechnung nicht weiter als 75 Millimeter in einer Sekunde, oder nahe eine geographische Meile in 24 Stunden, woraus man leicht sieht, dass diese Aktion im allgemeinen durch die weit ausgezeichneteren Wirkungen der Sonnenwärme für den Beobachter verwischt werden muss. Was aber den Einfluss dieser Luftströmung auf den Rotationseffekt der Erde betrifft, so ist derselbe nach den Gesetzen der Mechanik nichtsdestoweniger gerade eben so stark, als ob von der Sonne aus die Atmosphäre in völliger Ruhe gelassen würde.

Aus demselben Gesichtspunkte sind auch die kombinierten Bewegungen von Luft und Wasser zu betrachten. Denkt man sich nämlich die Einwirkung der Sonne und

der inneren Erdwärme auf diese beweglichen Medien als nicht vorhanden, so bleibt doch noch eine von Ost nach West gehende Strömung des Meeres wie der Luft übrig, wodurch die Achsendrehung der Erde ein Hindernis erfährt.

In der That ist, wie bekannt, die vorzugsweise von Ost nach West gerichtete Bewegung des Meerwassers durch Beobachtung längst konstatiert. Dass aber die mit Mond und Sonne fortschreitenden Gezeiten unter den Ursachen dieses allgemeinen Weststromes auf eine erhebliche Weise mitwirken, dies ist eine ausgemachte Sache.

Ausser der Ebbe und Flut können nämlich zu dieser beobachteten allgemeinen Strömung des oberflächlichen Meereswassers von Ost nach West nur die unteren, in der nämlichen Richtung gehenden Luftströmungen, namentlich also die in den Tropengegenden fast ununterbrochen wehenden Passatwinde, beitragen. Die westliche Strömung des Ozeans ist aber keineswegs auf die Region dieser östlichen Winde beschränkt. Man findet diese Meeresströmung in der zwischen den Passaten liegenden Gegend der Windstillen, wo sie eine mehrere Meilen täglich betragende Geschwindigkeit besitzt; man findet sie weit über das Gebiet der Passatwinde hinaus, gegen Nord und Süd, in Gegenden, wo Westwinde häufig, oft vorherrschend, wehen, am Kap der guten Hoffnung, in der Magellanischen Meerenge, im nördlichen Polarmeere u. s. f.

Eine dritte, zu einer allgemeinen Meeresströmung noch mitwirkende Ursache ist die ungleichförmige Erwärmung des Meerwassers in den verschiedenen Zonen. Nach hydrostatischen Gesetzen muss nämlich das kältere Wasser der höheren Breitegrade gegen den Aequator, und das wärmere Wasser des Aequators, soweit es nicht, was aber hier kaum in Betracht kommt, verdampft, gegen die Pole hinfliessen, wodurch im Wasser ein ähnlicher Kreislauf wie in der Atmosphäre hervorgebracht wird. Aus diesem Grunde ist ein kalter, unterer, vom Pol gegen den Aequator gerichteter, und ein wärmerer, oberflächlicher, vom Aequator gegen den Pol hinfliessender, Strom vorhanden. Die Wasserteile dieses letzteren Stromes müssen aber, ihrer grösseren Rotations-

geschwindigkeit wegen, die sie von der Linie mitbringen, eine Richtung von West nach Ost annehmen, und so liegt denn in den Temperaturverhältnissen der Erdoberfläche ein Grund zu einer vorherrschend west-östlichen Bewegung der oberflächlichen Wasserteile. Dass aber nichtsdestoweniger in Wirklichkeit die Bewegung des Ozeans im ganzen eine entgegengesetzte Richtung hat, dies ist ein sprechender Beweis von dem überwiegenden Einfluss der Gezeiten.

Da sich also aus Theorie und Erfahrung übereinstimmend ergibt, dass durch den Einfluss des Mondes auf die rotierende Erde eine fortschreitende, von Ost nach West gehende, Bewegung der tropfbar- und elastisch-flüssigen Hüllen des Planeten hervorgerufen wird, die durch keine entgegengesetzte Aktion eine Kompensation erleidet, so folgt, dass diese Strömung eine fortwährende Abnahme des Rotationseffektes der Erde bewirken muss.

Dieser anhaltende, der Erdrotation entgegengesetzte Druck, den die Ebbe und Flut ausübt, lässt sich auch aus statischen Gesetzen ableiten.

Durch die Gravitation des Mondes werden nämlich alle Massenteile der Erde ohne Ausnahme affiziert. Denkt man sich nun den Erdkörper durch die Ebene des Meridians, in welchem der Mond gerade steht, in zwei Halbkugeln, eine östliche und eine westliche, abgeteilt, so sieht man, dass der Mond durch seine Anziehung auf die eine, östliche, Halbkugel die Umdrehung der Erde zu verlangsamen —, durch die Anziehung auf die andre, westliche, Halbkugel aber zu beschleunigen strebt.

Unter gewissen Bedingungen kompensieren sich beide entgegengesetzte Tendenzen, womit die Einwirkung der Mondanziehung auf die Erdrotation zu Null wird. Dies geschieht, wenn beide Hemisphären auf eine gewisse Weise symmetrisch geordnet, oder auch, wenn alle Massenteile der Erde unveränderlich miteinander verbunden sind, in welch letzterem Falle durch die Rotation eine Art von Symmetrie hergestellt wird.

Dreierlei Ursachen bedingen nun in der Wirklichkeit

eine Abweichung der Erde von der völlig symmetrischen Kugelgestalt: 1. die Abplattung an den Polen, 2. die Gebirge und 3. die Ebbe und Flut. Die beiden ersten Ursachen geben keinen Grund zur Aenderung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde ab. Um sich aber den Einfluss, den die Ebbe und Flut in dieser Hinsicht ausübt, deutlich zu machen, kann man sich die Erde als eine vollkommen symmetrische, mit Wasser gleichförmig bedeckte, Kugel vorstellen. Durch die Anziehung des Mondes und der Sonne wird das Gleichgewicht in dieser Wassermasse gestört und die Erdkugel in ein längliches Sphäroid umgewandelt, indem sich auf der Kugel zwei flache Wasserberge erheben, wovon der eine, der obere Flutberg, dem Monde zugekehrt, der andre, der untere Flutberg, von demselben abgewendet ist. Eine durch die Gipfel beider Flutberge gezogene gerade Linie heisst die grosse Achse dieses Erdsphäroids.

Die so gestaltete Erde kann man sich in drei Teile zerlegt denken, in eine kleinere mittlere Kugel, und in zwei auf entgegengesetzten Seiten dieser Kugel angelegte Kugelabschnitte, die beiden Flutberge. Da durch die Anziehung, welche der Mond auf die in der Mitte gelegene Kugel äussert, in Bezug auf die Rotationsverhältnisse nichts geändert wird, so ist nur noch der Einfluss in Betracht zu ziehen, den die Mondanziehung auf die beiden Flutberge allein ausübt. Der obere, dem Monde näher gelegene, Flutberg wird, da seine Masse zum grösseren Teile vom Monde östlich gelegen ist, nach Westen, der untere Flutberg, welcher nach Westen liegt, wird nach Osten hingezogen. Seiner grösseren Nähe wegen wird aber der obere Flutberg nicht allein stärker angezogen, sondern er bietet auch für die seitliche Ablenkung einen günstigeren Angriffswinkel dar, als der untere Flutberg, so dass der Druck von Ost nach West des oberen Flutberges den von West nach Ost des unteren Flutberges überwiegt, und zwar verhalten sich diese Grössen, wie die Berechnung lehrt, nahe wie 14 : 13. Aus der Stellung also, welche die beiden Flutberge gegen den Mond einnehmen, oder aus der unveränderlichen Lage

der grossen Achse des Erdsphäroids gegen den Schwerpunkt des Mondes, resultiert ein überwiegend von Ost nach West gehender Druck, welcher der Umdrehung der Erde ein Hindernis entgegensetzt.

Will man die Gravitation mit der magnetischen Anziehung vergleichen, so wird die Erde zu einem Magnetstabe, dessen stärker angezogener Pol durch den oberen, dessen schwächerer, oder relativ zum neutralen Mittelpunkte abgestossener, Pol durch den unteren Flutberg dargestellt ist. Indem nun der obere Flutberg dem Monde sich zuzukehren strebt, verhält sich die Erde wie eine aus ihrem magnetischen Meridiane gebrachte Bussole, die, um in denselben zurückzukehren, beständig einen seitlichen Druck ausübt.

Vorstehende einfache Darlegung mag genügen, um den Einfluss, den der Mond auf die Umdrehung der Erde ausübt, nachzuweisen. Zur quantitativen Bestimmung des aus der Ebbe und Flut resultierenden verzögernden Druckes ist ein mechanischer Kalkul erforderlich, der im wesentlichen denselben Weg einzuschlagen hat, wie die Untersuchungen über die Nutation der Erdachse und die Präcession der Tag- und Nachtgleichen. Da aber die vielgestaltige Verteilung von Land und Wasser, die ungleichförmige und unbekannte Tiefe des Meeres und die für das offene Meer noch nicht genau erforschte mittlere Zeitdifferenz zwischen der Kulmination des Mondes und dem Eintreten des hohen Wassers (die an den Küsten sogenannte Hafenzeit), als Funktionen in diese Rechnung eingehen, so bleibt die gesuchte Grösse ein schwer und unsicher zu bestimmendes Element.

Inzwischen kann dieser verzögernde Druck, wenn er auf den Aequator reduziert gedacht wird, auch bei den niedrigsten Positionen nicht kleiner als 1000 Millionen Kilogramm angenommen werden. Um von einer festen Vorstellung auszugehen, sei es erlaubt, diese runde Zahl den folgenden Rechnungen beispielsweise zu unterlegen.

Da die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde unter dem Aequator 464 Meter beträgt, so beläuft sich der zur Unter-

haltung von Ebbe und Flut stattfindende Verbrauch von mechanischer Arbeit hiernach auf 464000 Millionen Meterkilogramm in jeder Sekunde, oder auf 6000 Millionen Pferdekräfte. Der Effekt von Ebbe und Flut wäre somit etwa auf $^1/_{30000}$ von dem Effekte, den die Erde von der Sonne aus erhält, anzuschlagen.

Der Rotationseffekt, den die Erde vermöge ihrer Achsendrehung gegenwärtig besitzt, lässt sich aus dem Volumen, aus der Masse und aus der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde berechnen. Das Volumen der Erde beläuft sich auf 2650686000 Kubikmeilen, das specifische Gewicht derselben ist nach *Reich* = 5,44. Nimmt man, was der Einfachheit wegen hier geschehen mag, die Dichtigkeit der Erde als gleichförmig an, so ergibt sich aus diesen Prämissen und der genau bekannten Umdrehungsgeschwindigkeit der gesuchte Rotationseffekt der Erdkugel = 25840 Quadrillionen Meterkilogramm. Werden hiervon 2500 Jahre lang in jeder Sekunde 464000 Millionen Meterkilogramm zur Ebbe und Flut verbraucht, so wird dadurch jener ganze Effekt in Summa um 36600 Trillionen Meterkilogramm oder um etwa $^1/_{700000}$ seiner Grösse vermindert.

Bei konstant bleibendem Volumen verhalten sich die Umdrehungsgeschwindigkeiten einer Kugel wie die Quadratwurzeln aus den Rotationseffekten. Hieraus folgt, dass in der angenommenen Zeit von 2500 Jahren die Tageslänge durch den Einfluss von Ebbe und Flut um $^1/_{1400000}$, oder, den Tag zu 86400 Sekunden berechnet, um $^1/_{16}$ Sekunde vergrössert werden müsste, falls das Volumen der Erde ein unveränderliches wäre. Ob aber diese letzte Voraussetzung in der Wirklichkeit begründet ist oder nicht, diese Frage hängt mit den Temperaturverhältnissen unsres Planeten zusammen, die im folgenden Kapitel besprochen werden sollen. —

Auch auf den Mondlauf wirkt die Ebbe und Flut störend zurück. Durch die stärkere Anziehung, den der obere, östlich vom Monde gelegene Flutberg auf den Mond ausübt, wird die Tangentialgeschwindigkeit dieses Satelliten

fortwährend vermehrt und dadurch der mittlere Abstand von Mond und Erde, sowie die Umlaufszeit des Mondes, vergrössert. Diese Störung ist aber, wie die Berechnung lehrt, so unbedeutend, dass dadurch die Umlaufszeit des Mondes während der Dauer von Jahrhunderten nur um einen kleinen Bruchteil einer Sekunde verlängert wird.

9.

Die innere Wärme der Erde.

Ohne Zweifel hat es einmal eine Zeit gegeben, in welcher die Erde in ihrer jetzigen Grösse noch nicht bestanden hat. Dieser einfachen Annahme gemäss lässt sich die Entstehung unsres Planeten zunächst auf eine Vereinigung zuvor getrennter Massen zurückführen.

Bei einem solchen mechanischen Verbindungsprozesse von Massen zweiter Ordnung mit Massen zweiter und dritter Ordnung u. s. f. kommen die nämlichen Gesetze wieder in Anwendung, die schon in Beziehung auf die Sonne entwickelt worden sind. Es muss beim Zusammenstossen dieser Massen allezeit eine den Quadraten der Geschwindigkeiten oder eine dem mechanischen Effekte proportionale Wärmemenge hervorgebracht werden.

So wenig man auch im stande ist, über die näheren Umstände der vorweltlichen Existenz der konstituierenden Bestandteile unsrer Erde etwas Sicheres anzugeben, so ist es doch von nicht geringem Interesse, unter Zugrundelegung möglichst einfacher Annahmen, einen Massstab zu erhalten, nach welchem die bei dem präsumierten kosmisch-tellurischen Verbindungsprozesse entwickelten Wärmemengen geschätzt werden können.

Demgemäss wollen wir zunächst den Erdkörper als aus zwei Teilen entstanden betrachten, die ihre relativen Bewegungen nur durch ihre gegenseitige Anziehung erhalten haben sollen. Die ganze Masse der jetzt vereinigten Erde sei, nach Kilogramm gezählt, $= T$, die beiden Teile aber

seien $= T - x$ und $= x$. Das Grössenverhältniss dieser beiden Teile unter sich kann nun unendlich mannigfaltig gedacht werden. Die beiden äussersten Fälle sind die, wo entweder x im Verhältnisse zu T als unendlich klein zu betrachten ist, oder aber $x = T - x = {}^1/_2\ T$ wird. Diese beiden Fälle, welche einen Rahmen für alle denkbaren Verhältnisse der Stücke $T - x$ und x bilden, müssen jetzt etwas näher erörtert werden.

Es sei zuerst x im Verhältnisse zu $T - x$ oder zu T unendlich klein, so ist, da ein Herabfallen von terrestrischen Höhen bei der vorliegenden Betrachtung zum voraus ausgeschlossen bleibt, die Endgeschwindigkeit, mit der x, sei es nun nach einem geradlinigen Herabfallen aus grosser Ferne, oder nach stattgehabter Centralbewegung um die Erde, auf der Erdoberfläche ankommt, den im 4. Kapitel in Beziehung auf die Sonne entwickelten Gesetzen gemäss, in ein Cadre von 7908 bis 11183 Meter eingeschlossen. Der diesem Vereinigungsprozesse entsprechende Wärmeeffekt beträgt, je nach dem Werte, den die grosse Bahnachse der Masse x hat, zwischen 7500 x und 15000 x Wärmeeinheiten. Da aber x im Vergleiche mit T der Annahme gemäss unendlich klein ist, so verschwindet die auf solche Weise produzierte Wärme spurlos bei ihrer Ausbreitung auf die Erdmasse.

Mit der Zunahme von x wächst aber die Quantität der Verbindungswärme, und für den als zweiten Fall angenommenen Wert $x = {}^1/_2\ T$ beträgt die entwickelte Wärme zwischen 5200 T und 7500 T Wärmeeinheiten.

Setzt man die Wärmekapazität der Erde gross, nämlich nach dem Volumen berechnet = der des Wassers, oder nach dem Gewichte berechnet $= 0{,}184$, so ergibt sich aus dem Bisherigen, dass die Differenz zwischen der ursprünglichen Temperatur der konstituierenden Teile und der resultierenden Temperatur der vereinigten Erde, oder die Quantität der mechanischen Verbindungswärme, je nach der relativen Grösse jener Teile etc., von 0 bis 27600° und selbst bis 40000° C. habe betragen können!

Bei einer Vereinigung von mehr als zwei Teilen würde mit der Zahl dieser Teile auch die Grösse der Wärmeproduktion noch zugenommen haben. Noch weit grösser müsste aber die Wärmeentwickelung gewesen sein, wenn die unsern Planeten konstituierenden kosmischen Massen vor ihrer Verbindung in getrennten Bahnen um die Sonne sich bewegt und durch eine gleichsam zufällige Begegnung einander getroffen hätten. Inzwischen hat diese letztere Annahme aus verschiedenen Gründen die Wahrscheinlichkeit gegen sich. —

Viele Thatsachen deuten darauf hin, dass die ganze Erdmasse früher in feurig-flüssigem Zustande sich befunden hat und allmählich von ihrer Oberfläche aus, und zwar bis jetzt zu einer verhältnismässig nur geringen Tiefe, erkaltet ist.

Die Gestalt der Erde liefert hierfür den ersten Beweis. „Die Gestalt der Erde ist ihre Geschichte.“ Nach den sorgfältigsten Messungen besitzt nämlich die Erde genau diejenige an ihren Polen abgeplattete Kugelform, die einer flüssigen Masse von der Umdrehungsgeschwindigkeit unsrer Erde zukommt, woraus sich mit grosser Sicherheit schliessen lässt, dass die Erde zu jener Zeit, als sie ihre Achsendrehung erhielt, flüssig gewesen sein muss. Dass aber dieser flüssige Zustand nicht durch wässrige Auflösung, sondern nur durch schmelzendes Feuer bedingt gewesen sein konnte, dieses darf wohl jetzt, nach lange gepflogenem Streite, als ausgemachte Sache betrachtet werden.

Auch der Wärmezustand der Erdrinde beweist noch heute die im Innern der Erde herrschende Hitze. Durch viele genaue Versuche und Messungen ist die mit der Tiefe zunehmende Wärme der Erdrinde längst als thatsächlich konstatiert. So fand man z. B. bei Bohrung des 546 Meter tiefen artesischen Brunnens zu Grenelle für je 30 Meter Tiefe eine Zunahme von 1^0 Wärme. Die gleiche Temperaturzunahme wurde bei dem 671 Meter tiefen artesischen Brunnen zu Mondorf im Luxemburgischen gefunden, dessen Wasser 34^0 hat und der mithin, wie der Brunnen zu Grenelle, als wahre Therme zu betrachten ist.

Die heissen Quellen alle sind handgreifliche Beweise von der in der Tiefe herrschenden hohen Temperatur. Die Sachverständigen sind darüber einig geworden, dass die wässrigen Niederschläge aus der Atmosphäre, der Regen, Tau, Hagel, Schnee, die einzigen Ursachen der Quellenbildung sind. Das meteorische Wasser dringt, seiner Schwere folgend, wo es Gelegenheit findet, in die Erde ein und kommt an tieferen Stellen heberartig emporsteigend als Quellwasser wieder zu Tage. Wenn nun Wasser durch senkrechte Felsenspalten in bedeutende Tiefen hinabgelangt, so eignet es sich die dort herrschende Temperatur an und kehrt erwärmt zur Oberfläche der Erde zurück.

Häufig unterscheiden sich solche Wasser durch nichts als durch ihren Wärmegehalt von gewöhnlichen Quellen. Hat aber das Wasser Gelegenheit, entweder mineralische Bestandteile in der Tiefe aufzulösen oder auch arzneilich wirksame Pflanzenstoffe dem Humus zu entführen und sich zu bewahren, so wird es dadurch zur Thermalheilquelle. Beispiele von mineralischen Thermen sind: Aachen, Karlsbad. Beispiele von vegetabilischen Thermen (irrtümlich „indifferente Thermen“ genannt) Wildbad, Pfäffers u. s. w.

Noch entschiedener als durch das heisse Wasser dieser Quellen wird die Hitze der inneren Erde durch die aus der Tiefe emporsteigenden feuerflüssigen Massen beurkundet. Wie schon erwähnt wurde, rechnet man etwa auf 30 Meter Tiefe eine Temperaturzunahme von 1° C. Ob es nun gleich keineswegs glaublich ist, dass diese Zunahme bis gegen den Mittelpunkt der Erde hin sich erstrecke, so lässt sich doch eine solche Zunahme für eine immerhin beträchtliche Tiefe als stetig fortwachsend mit Sicherheit annehmen, woraus sich für eine Tiefe von einigen Meilen ein Hitzegrad ergibt, bei welchem die meisten Materien in geschmolzenem Zustande sich befinden müssen. Solche glühend flüssige Massen steigen an vielen Orten durch die erkaltete Erde hindurch als Lavaströme an das Tageslicht empor. —

Ueber die Entstehung der als konstatiert zu betrachten-

den inneren Erdwärme hat sich ein verdienter Naturforscher in der neuesten Zeit auf folgende Weise geäussert:

„Es kann sich allerdings niemand auf die letzten Ursachen aller Dinge einlassen Aber soviel sieht jeder Denkende ein, dass ebensoviel Grund dazu da ist, dass ein Körper, wie z. B. die Erde, warm, d. h. wärmer als gefrorenes Wasser oder menschliches Blut sei, als dass er kalt oder vielmehr kälter als jene sei. Eine besondere Ursache dieser absoluten Wärme ist ebensowenig nötig, als eine Ursache der Bewegung oder Ruhe. Nur die Störung, d. h. der Uebergang von einem Verhältnisse in das andre, fordert und gewährt Erklärungen.“

Offenbar ist diese Meditation nicht geeignet, das Bedürfnis nach einer Erklärung der fraglichen Erscheinung abzuschneiden, denn da jede Materie das Bestreben hat, ihre Temperatur mit der ihrer Umgebung in das Gleichgewicht zu setzen und im Zustande der Ruhe sofort zu beharren, so ist man überall, wo eine Materie höher temperiert, als ihre Umgebung gefunden wird, zu schliessen berechtigt und genötigt, dass hier vor einer relativ nicht allzu langen Zeit eine Erwärmung stattgefunden haben muss, — ein Prozess, der allerdings eine Erklärung gewährt und fordert.

Die *Newton*sche Gravitationstheorie, welche uns aus der jetzigen Gestalt der Erde ihren ursprünglichen Aggregatzustand erkennen lässt, lehrt uns zugleich die Wärmequelle kennen, welche stark genug war, um einen solchen Aggregatzustand herbeizuführen, stark genug, um Weltkörper zu schmelzen; sie lehrt uns den feuerflüssigen Zustand eines Planeten als das Resultat der mechanischen Verbindung kosmischer Massen zu betrachten und sie führt somit die Wärme im Bauche der Erde und das Strahlen der Sonne auf einen homogenen Prozess zurück.

Auch der Rotationseffekt der Erde lässt sich auf eine ungezwungene Weise von dem Zusammenstossen der die Erde konstituierenden kosmischen Massen herleiten, und es wäre hiernach die lebendige Kraft dieser Achsendrehung vom Gesamteffekte des mechanischen Verbindungsprozesses

zu subtrahieren, wo dann der Rest die Quantität der entwickelten freien Wärme ausdrücken würde. Inzwischen stellt der Rotationseffekt gegenüber der innern Erdwärme nur eine unerhebliche Grösse dar. Es beträgt nämlich der Rotationseffekt, unter der Annahme einer gleichförmigen Dichtigkeit der Erde, etwa 4400 T Meterkilogramm (wo wiederum T das Gewicht der Erde in Kilogramm ausgedrückt bedeutet), welches nicht weiter als 10 T Wärmeeinheiten äquivalent ist.

Stellt man sich vor, der Mond werde im Laufe der Zeiten durch den Einfluss eines widerstandsleistenden Mediums oder durch irgend sonst etwas veranlasst, mit der Erde sich zu vereinigen, so lassen sich zwei Hauptwirkungen einer solchen Katastrophe unterscheiden. Durch die lebendige Kraft des Zusammenstossens würde die ganze Masse des Mondes und die erkaltete Erdrinde um mehrere tausend Grade erhitzt und die Erde mithin von einem Feuerozeane allenthalben umflutet. Zugleich würde aber auch die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde etwas beschleunigt und die Lage der Erdachse bezüglich zum Firmamente und zur Erdoberfläche etwas, jedoch nicht bedeutend, verändert. Wäre aber die Erde zuvor kalt und ohne Umdrehung, so würde sie durch den Verbindungsprozess mit dem Monde sowohl Wärme als Rotationseffekt, ihrem dermaligen Zustande konform, erhalten.

Wahrscheinlich haben, bis die Erde zu ihrer jetzigen Grösse herangewachsen war, wiederholte Vereinigungsprozesse stattgefunden, und es mögen zum Teil unbeschreiblich üppige Vegetationen durch solche Massenkonflikte unter glühendem Schutte begraben worden sein.

So lange die Erdoberfläche noch im Zustande des Glühens sich befunden hatte, musste die Abkühlung in raschem Fortschreiten begriffen gewesen sein; allmählich musste aber die Abkühlungsgeschwindigkeit mehr und mehr abnehmen, und es ist somit klar, dass dieselbe zwar bis auf den heutigen

Tag noch nicht ganz aufgehört haben kann, dass sie aber zu einem verhältnismässig geringen Werte herabgesunken sein muss.

Durch die Abkühlung der Erde werden zweierlei Erscheinungen bedingt, die ihrer gemeinschaftlichen Quelle wegen wieder unter sich aufs engste verknüpft sind. Einerseits muss infolge der Zusammenziehung der erkaltenden Erdschichten die Erdoberfläche der Schauplatz vieler Gleichgewichtsstörungen, vieler grossartiger Revolutionen sein und feurig-flüssige Massen müssen mit unermesslicher Gewalt aus der Tiefe zu Gebirgen emporquellen; andrerseits muss die Umdrehungsgeschwindigkeit der Kugel nach bekannten Gesetzen der Mechanik in dem Masse wachsen, als das Volumen der Kugel abnimmt, d. h. die Tageslänge muss sich durch die Abkühlung der Erde verkürzen.

Da demzufolge die Stärke der Erderschütterungen und die Grösse der Umdrehungsgeschwindigkeit der Kugel in engem Zusammenhange steht, so ist klar, dass der Vorzeit eine fortwährend stürmische Umgestaltung der Erdrinde und zugleich eine merkliche Beschleunigung der Achsendrehung entspricht, während dass der Jetztzeit eine viel langsamere Metamorphose der Oberfläche und eine sehr geringe Umdrehungsbeschleunigung zukommt.

Versetzen wis uns im Geiste in jene Zeiten zurück, in welchen die Alpen, die Kette der Anden und der Pic von Teneriffa aus der Tiefe gehoben wurden, und vergleichen wir damit die Erderschütterungen und vulkanischen Eruptionen der historischen Zeiten, so sehen wir leicht, dass die neueren Umgestaltungsprozesse nur ein schwaches Abbild früherer analoger Vorgänge sind.

Während wir von bleibenden Denkmälern ehemaliger, höchst gewaltsamer, vulkanischer Umgestaltungen überall umgeben sind, so fehlt uns dagegen von der Umwälzungsgeschwindigkeit, die unser Planet in den antediluvianischen Zeiten hatte, jede Kunde. Um so wichtiger ist es, eine etwaige Veränderung dieser Umdrehungsgeschwindigkeit oder der Tageslänge im Laufe der historischen Zeiten möglichst

genau zu kennen. Eine solche Untersuchung, von dem grossen *Laplace* angestellt, bildet einen Glanzpunkt im Gebiete der exakten Naturforschung. 26

Bei diesen Berechnungen wird im wesentlichen auf folgende Weise verfahren: zunächst wird der zwischen zwei weit auseinandergelegenen Sonnenfinsternissen befindliche Zeitraum bis auf einen möglichst genauen Bruchteil nach Tagen gezählt und hieraus das Verhältnis zwischen der Umdrehungszeit der Erde und der mittleren Umlaufszeit des Mondes bestimmt. Vergleicht man sofort die von den ältesten Astronomen hinterlassenen Beobachtungen mit denen der Gegenwart, so lässt sich die geringste Veränderung der absoluten Länge des Tages durch eine Aenderung jenes Verhältnisses oder durch eine Störung des Mondlaufes wahrnehmen. Aus der vollkommen genauen Uebereinstimmung der uns aus alten Zeiten überlieferten Nachrichten über den Mond- und Planetenlauf, über Sonnenfinsternisse u. s. w. hat aber *Laplace* die höchst merkwürdige Thatsache aufgefunden, dass im Laufe von 25 Jahrhunderten die Umdrehungszeit der Erde sich nicht um den fünfhundertsten Teil einer Sexagesimalsekunde verändert hat, mithin die Länge des Sterntages seit den historischen Zeiten als völlig konstant zu betrachten ist.

Dieses für die Astronomie ebenso wichtige als bequeme Resultat war nichtsdestoweniger geeignet, den Physikern Verlegenheit zu bereiten. Mit scheinbar gutem Grunde wurde nämlich von dem Konstantbleiben der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde unmittelbar auf eine entsprechende Unveränderlichkeit ihres Volumens geschlossen. Da die Erde zu einer Umdrehung 86 400 Sekunden Sternzeit bedarf, diese Grösse aber seit 2500 Jahren nicht um $^1/_{500}$ Sekunde, oder um $^1/_{43}$ Millonenteil eines Tages, sich verändert hat, so schien daraus hervorzugehen, dass während dieses ganzen Zeitraumes auch der Erdhalbmesser bis auf diesen Bruchteil seiner Grösse hin sich gleich geblieben sein müsse. Die Länge des Erdradius beträgt 6 369 800 Meter; demnach sollte die Verkürzung desselben in der angegebenen Zeit keine 15 Centimeter betragen haben.

Die durch die Abkühlung der Erde bedingte Volumensverminderung derselben steht aber mit den Revolutionen auf der Erdoberfläche in notwendigem Zusammenhange. Wenn man nun erwägt, dass kein Tag vergeht, an welchem nicht da oder dort Erderschütterungen stattfinden, und dass von ungefähr 300 noch thätigen Landvulkanen immerwährend einige im Ausbruche begriffen sind, so wird man eine solche ununterbrochen fortdauernde und noch immer lebhafte Reaktion des Innern der Erde gegen ihre Rinde mit einer völligen Unveränderlichkeit ihres Volumens nicht gut vereinbar finden.

Bei diesem Konflikte, in welchen *Cordiers* Theorie von dem Zusammenhange der Abkühlung und der Erschütterung der Erde mit der die Unveränderlichkeit der Tageslänge konstatierenden Rechnung von *Laplace* scheinbar geriet, und bei der unbezweifelbaren Richtigkeit dieser Rechnung haben sich die meisten Naturforscher veranlasst gesehen, jene Theorie ganz fallen zu lassen, wodurch sie sich aber natürlich jede wissenschaftlich haltbare Erklärung der vulkani-
27 schen Erscheinungen abgeschnitten haben.

Eine fortlaufende Abkühlung des Erdkörpers ist ein durch die Naturgesetze bedingter Prozess, der sich auf keine Weise in Abrede ziehen lässt, da sich die Erde in dieser Beziehung unmöglich anders als irgend eine andre, wenn auch noch so kleine Masse verhalten kann. Die Erde muss unerachtet der ihr von der Sonne zugeführten Wärme so lange eine Abkühlungstendenz besitzen, als die Temperatur in ihrem Innern die mittlere Temperatur ihrer Oberfläche übertrifft. Die durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte mittlere Temperatur beträgt aber im Maximum, oder zwischen den Tropen, etwa 28 ^{0} und es vermag also die Sonne der Abkühlungstendenz der Erde ebensowenig das Gleichgewicht zu halten, als die in einem geheizten Zimmer befindliche mässige Wärme eine dort aufgehangene glühende Masse zu hindern vermag, ihre Temperatur mit der der Umgebung auszugleichen.

Viele Erscheinungen, z. B. das Schmelzen des Gletscher-

eises vom Boden aus, beurkunden diese ununterbrochene Strömung der Erdwärme von innen nach aussen, und es fragt sich jetzt: beträgt der Wärmeverlust, den die Erde seit 20 bis 25 Jahrhunderten erlitten hat, wirklich so wenig, dass der Erdhalbmesser bei einer Länge von mehr als 6 Millionen Meter dadurch noch nicht um $1\frac{1}{2}$ Decimeter verkürzt worden ist?

Bei Beantwortung dieser Frage kommen dreierlei Momente in Rechnung: 1. die absolute Wärmemenge, welche die Erde in einer gewissen Zeit, z. B. in einem Tage, verliert. 2. Die Wärmekapazität der ganzen Erdmasse und 3. der Ausdehnungskoeffizient dieser Masse für die Wärme.

Da eine direkte Messung bei keiner dieser Grössen gestattet ist, so bleibt nichts übrig, als sich mit Schätzungen zu begnügen, die um so eher auf einiges Gewicht Anspruch machen können, je weniger sie zu Gunsten einer vorgefassten Meinung angestellt werden.

Zieht man von dem, was über die Ausdehnung, beziehungsweise Zusammenziehung, fester und tropfbar flüssiger Körper durch Wärme oder Kälte bekannt ist, einen Schluss auf die Grösse der linearen Zusammenziehung des Erdkörpers für 1^0 Temperaturabnahme, so lässt sich diese Grösse nicht wohl kleiner als $= \frac{1}{100000}$ annehmen, — eine runde Zahl, bei der wir um so mehr stehen bleiben wollen, als sich auch *Laplace, Arago* u. a. derselben bedient haben.

Wird ferner die Wärmekapazität von allen möglichen festen und tropfbar flüssigen Körpern mit der des Wassers verglichen, so findet man die letztere, sowohl auf das Gewicht, als auf das Volumen bezogen, allezeit grösser als die erstere. Selbst die Gasarten fügen sich dieser Regel, mit einziger Ausnahme des Wasserstoffes, dessen Wärmekapazität, auf das Volumen bezogen, hinter der des Wassers am weitesten zurückbleibt, dagegen auf das Gewicht bezogen dieselbe noch übertrifft. Um nun die durchschnittliche Wärmekapazität der Erdmasse auf keinen Fall zu klein zu nehmen, soll hier dieselbe, auf das Volumen

bezogen, in rundem Verhältnisse der des Wassers gleich gesetzt, oder nach dem Gewichte berechnet, wie oben = 0,184 genommen werden*).

Will man nun nach *Laplace* aus der Unveränderlichkeit der Tageslänge den Schluss ziehen, dass sich seit 2500 Jahren der Erdhalbmesser durch Abkühlung nicht um 1½ Decimeter zusammengezogen haben könne, so muss man nach den vorangeschickten Positionen annehmen, dass die mittlere Temperatur der Erdmasse in der nämlichen Zeit nicht um $^1/_{430}{}^0$ herabgegangen sei.

Der Inhalt der Erde beträgt 2650 Millionen Kubikmeilen. Eine Abkühlung dieser Masse um $^1/_{430}{}^0$ würde also der Abkühlung von 6 150 000 Kubikmeilen Wasser um 1^0 äquivalent sein, was auf den Tag berechnet einen Verlust von 6,74 Grosskalorien gibt.

Ueber den Wärmeverlust, den die Erde erleidet, hat *Fourier* Berechnungen angestellt. Dieser berühmte Mathematiker findet unter Zugrundelegung der an vielen Orten festgestellten Beobachtung einer mittleren Temperaturzunahme der Erdkruste von 1^0 C. für 30 Meter Tiefe die

---

*) Sowohl die Wärmekapazität als auch der Ausdehnungskoeffizient der Materien nimmt im allgemeinen mit der Temperatur zu. Da aber in unsrer Rechnung diese beiden Grössen in entgegengesetztem Sinne funktionieren, so mag es gestattet sein, von dem Einflusse, den die hohe Temperatur der innern Erde auf diese Zahlen haben muss, hier einfach zu abstrahieren. Denn wenn man geltend machen wollte, dass die Wärmekapazität der Erdmasse bei der vorhandenen hohen Temperatur 2- oder selbst 3mal grösser sein könnte, als bei 0 bis 100°, so ist dagegen wieder zu berücksichtigen, dass der Ausdehnungskoeffizient $= \frac{1}{100000}$ nur für starre Massen angenommen werden kann, und für diese sogar eine Art von Minimum bildet, bei Flüssigkeiten aber bedeutend grösser ist und z. B. beim Quecksilber zwischen den festen Punkten des Thermometers das sechsfache von der angenommenen Grösse beträgt. Vorzüglich gross ist die Ausdehnung und Zusammenziehung bei denjenigen Temperaturgraden, bei welchen ein Uebergang von einer Aggregatform zu einer andern stattfindet, was bei den in Erstarrung übergehenden Schichten der geschmolzenen Erdmasse noch besonders in Anschlag gebracht werden könnte.

Wärme, welche die Erde durch einfache Fortleitung durch ihre erstarrte Rinde abgibt, so gross, dass durch dieselbe in 100 Jahren eine 3 Meter dicke, über die Erde verbreitete Eisschichte geschmolzen werden könnte, welches, wie vorhin berechnet, auf den Tag 7,7 Grosskalorien, und in 2500 Jahren eine Halbmesserverkürzung von 17 Centimeter gibt.

Hiernach wäre also die Abkühlung der Erde schon gross genug, um bei der Frage nach der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde nicht mehr vernachlässigt werden zu dürfen.

Zugleich erhellt aber, dass man nach *Fourier* nur einen kleinen Teil der Wärme erhält, den die Erde das Jahr hindurch verliert, denn die von demselben in Rechnung gebrachte einfache Fortleitung der Wärme durch die *terra firma* hindurch ist nicht der einzige Prozess, durch den eine Abkühlung des Erdkörpers bedingt wird.

Zuerst werde des meteorischen Wassers gedacht, das, soweit es zu einiger Tiefe in den Erdboden eindringt, die dort befindliche Wärme gleichsam auswäscht und dadurch zur Abkühlung der Erde beiträgt. Da aber die ganze in einem Tage auf festen Boden fallende meteorische Wassermasse durchschnittlich nicht viel über eine halbe Kubikmeile Wasser angenommen werden kann, so folgt, dass der durch solches Wasser herbeigeführte Wärmeverlust bei vorliegender Rechnung kaum in Betracht kommt und dass insbesondere alle Thermen der Welt zusammengenommen hier nicht im stande sind, ein erhebliches Gewicht in die Wagschale zu legen.

Viel wichtiger sind die vulkanischen Erscheinungen im engeren Sinne. Denn da die durch die Thätigkeit der feuerspeienden Berge zu Tage geförderte Hitze von der inneren Erdwärme herstammt, so muss in diesen grossartigen Aktionen ein wichtiges Moment zur Verminderung des gegebenen Wärmefonds der Erde liegen. Es kommen aber hier nicht bloss die wahren vulkanischen Ausbrüche in Betracht, die auf der Erde ununterbrochen bald hier, bald dort, bald an verschiedenen Stellen zugleich, stattfinden; auch die in zeit-

weiliger Ruhe befindlichen Vulkane strömen fortwährend gewaltige Mengen von Wärme aus, welche dem Innern der Erde entzogen werden. Jeder Vulkan stellt gleichsam eine der Epidermis beraubte, offene Stelle des Erdkörpers dar, wo das Innere an das Licht gekehrt ist und die Wärme deshalb frei entweicht.

Die gesamte Wärmemenge nun, welche durch so zahlreiche Wärmefontanellen der Erde entführt wird, darf nicht gering angeschlagen werden. Um für die Schätzung dieser Grösse einigen Anhalt zu bekommen, erinnere man sich, dass ein feuerspeiender Berg auf Island, *Skaptar-Iökul,* im Jahre 1783 binnen sechs Wochen mit seiner Lava eine Strecke von 60 Quadratmeilen Landes im Mittel 200 Meter hoch bedeckt, oder etwa 1½ Kubikmeilen Lava ausgeworfen hat. Der Wärmeverlust, den das Innere der Erde durch diese e i n e Eruption eines einzigen Vulkanes erlitten hat, ist bei der hohen Temperatur der flüssigen Lava auf mehr als 1000 Grosskalorien anzuschlagen, und der ganze, aus der Summe aller vulkanischen Prozesse resultierende jährliche Wärmeverlust muss demzufolge durchschnittlich wohl nach Tausenden von Wärmekubikmeilen gezählt werden. Diese letztere Zahl zu der nach *Fourier* gefundenen addiert, gibt eine Grösse, die sich offenbar nicht mehr mit der Annahme einer völligen Unveränderlichkeit des Erdvolumens verträgt.

Bei der Untersuchung über die Abkühlung der Erde kommen aber noch besonders die Verhältnisse des mit Wasser bedeckten Teiles der Erdoberfläche in Betracht. Die Berechnung des Wärmeverlustes der Erde nach *Fourier* gründet sich auf Beobachtungen, welche über die Temperaturzunahme auf der mit Luft bedeckten *terra firma* angestellt wurden. Nun ist aber die Erde zu mehr als zwei Dritteilen mit Wasser überzogen, und es kann keineswegs *a priori* angenommen werden, dass für dieses grosse Areal der Abkühlungswert derselbe sei, wie für das feste Land; vielmehr vereinigen sich mehrere Umstände, welche glauben lassen, dass die Abkühlung vom Meeresgrunde aus durchschnittlich bedeutend rascher als auf dem Lande vor sich gehe.

Zuvörderst kommt hier in Betracht, dass der Grund des Meeres seiner Tiefe wegen dem Herde der inneren Erdwärme überhaupt näher liegt, als die Oberfläche des festen Landes, weshalb die Temperaturzunahme, vom Grunde des Meeres an abwärts gerechnet, wahrscheinlich etwas rascher erfolgt, als auf dem Lande. Sodann ist zu berücksichtigen, dass der ganze Meeresgrund mit einer Lage von eiskaltem Wasser bedeckt ist, das sich beständig von den Polen gegen den Aequator hinzieht, — ein Strom, der sich auch über Sandbänke hinüber wälzt, und nach *v. Humboldts* treffender Bemerkung die über solchen Untiefen regelmässig herrschende auffallend niedere Temperatur verursacht. Dass nun das Grundwasser des Meeres seiner niederen Temperatur und seiner ausnehmend grossen Wärmekapazität wegen ohne Vergleich geeigneter ist, dem Boden Wärme zu entführen, als die Atmosphäre, dieses bedarf keiner weiteren Ausführung.

Es fehlt nicht an Wahrnehmungen, welche den grossen Wärmeverlust, den die Erdkugel durch ihre tropfbar flüssige Bedeckung erleidet, direkt beweisen. Zahlreiche Untersuchungen haben nämlich dargethan, dass auf einer weiten, zwischen Island, Grönland, Norwegen und Spitzbergen gelegenen, von Walfischfängern viel befahrenen Strecke des nördlichen Polarmeeres, zwischen 76 bis 80 ^{0} nördlicher Breite und zwischen dem 15. ^{0} östlicher und dem 15. ^{0} westlicher Länge von Greenwich die Temperatur des Seewassers statt nach der allgemeinen Regel und den hydrostatischen Gesetzen gemäss mit der Tiefe abzunehmen, mit derselben vielmehr wächst. So fand z. B. *Franklin* unter dem 77. ^{0} nördlicher Breite und 12. ^{0} östlicher Länge die Temperatur auf der Meeresoberfläche $= -\frac{1}{2}^0$, in einer Tiefe von 700 Faden $= +6^0$; *Fischer* fand unter 80 ^{0} nördlicher Breite und 11 ^{0} östlicher Länge auf der Oberfläche 0 ^{0} in einer Tiefe von 140 Faden $+8^0$ u. s. w.

Da das Seewasser nicht wie das süsse Wasser seine grösste Dichtigkeit über dem Gefrierpunkte besitzt, und da ferner das Wasser unter dem 80. Grade nördlicher Breite in

einiger Tiefe wärmer gefunden wird, als 10 Grade südlicher in gleicher Tiefe, so lässt sich dieses merkwürdige Phänomen der mit der Tiefe zunehmenden Temperatur jener Gewässer auf keine Weise anders als durch eine vom Grunde ausgehende Erwärmung des Meerwassers erklären. Die Wärmemenge aber, welche dazu erforderlich ist, um das Meerwasser in einer Ausdehnung von mehr als tausend Quadratmeilen von unten herauf auf eine merkliche Weise zu erwärmen, muss sich auch nach der geringsten Schätzung Tag für Tag auf mehrere Grosskalorien belaufen.

Die nämliche Erscheinung der mit der Tiefe zunehmenden Temperatur des Wassers wurde auch in einigen andern Weltgegenden wahrgenommen; so an der Westküste Neuhollands, im adriatischen Meerbusen, im Lago Maggiore u. s. w. Insbesondere verdient noch die Angabe *v. Horners* hier Erwähnung, dass im mächtigen Golfstrome an der Küste von Amerika das aus 80 bis 100 Faden Tiefe heraufgezogene Senkblei über die Siedhitze des Wassers warm zu sein pflege.

Die angeführten Thatsachen, denen noch verschiedene andre hinzugefügt werden könnten, lassen zur Genüge erkennen, dass der Wärmeverlust, den die Erde seit den letzten 2500 Jahren erlitten hat, viel zu bedeutend ist, um in seinem Einflusse auf die Achsendrehung unsres Planeten als verschwindend klein betrachtet werden zu können. Warum aber dieser beschleunigenden Ursache unerachtet die Tageslänge seit den ältesten Zeiten sich nicht vermindert hat, davon liegt der Grund einfach darin, dass die aus der Abkühlung der Erde resultierende Rotationsbeschleunigung durch einen entgegengesetzten, verzögernden Einfluss wieder aufgehoben wird. Dieser letztere besteht, wie im vorigen Kapitel auseinandergesetzt wurde, in der Anziehung von Mond und Sonne auf die flüssige Oberfläche der rotierenden Erde.

Halten wir uns wieder an die im vorigen Kapitel gegebene Schätzung und Berechnung, nach welcher die dem verzögernden Druck der Ebbe und Flut entsprechende Verlängerung des Sterntages in den letzten 2500 Jahren ca. $^1/_{16}$ Sekunde beträgt, so ergibt sich aus der konstant

gebliebenen Tageslänge, oder dem obwaltenden Gleichgewichtszustande, für die Abkühlung ein ebenso grosser Verkürzungswert des Sterntages. Diesem letzteren entspricht eine Verkleinerung des Erdhalbmessers um $4^1/_2$ Meter (in 2500 Jahren) und ein täglicher Wärmeverlust von 200 Wärmekubikmeilen. Die Temperaturverminderung der ganzen Erdmasse aber würde hiernach in diesem Zeitraume $^1/_{14}{}^0$ C. betragen haben.

Diese nicht unbeträchtliche Zusammenziehung des Erdkörpers stimmt mit den unaufhörlich stattfindenden Umänderungen der Erdoberfläche, den Erdbeben und vulkanischen Eruptionen überein, so dass wir diese Naturerscheinungen mit *Cordier*, diesem fleissigen Beobachter vulkanischer Prozesse, als notwendiges Resultat der fortdauernden Abkühluug der in ihrem Innern feurig-flüssigen Erde betrachten.

In den frühesten Zeiten des Erdlebens musste die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde wegen der raschen Abkühlung dieser damals auch auf der Oberfläche glühenden Kugel in einer merklichen Zunahme begriffen gewesen sein. Diese Beschleunigungsursache tritt aber allmählich mehr und mehr zurück, so dass der sehr nahe gleichförmig anhaltende verzögernde Druck von Ebbe und Flut mit der Zeit das Uebergewicht bekommt, von wo an dann die Umdrehungsgeschwindigkeit sich fort und fort wieder vermindert. Zwischen der Zunahme und der Abnahme liegt aber eine Periode des Stillstandes oder des Gleichgewichtes der entgegengesetzten Einwirkungen, und so lässt sich mithin das ganze Erdleben in drei Perioden einteilen: in die Jugend mit wachsender —, in das mittlere Alter mit gleichbleibender —, und in das höhere Alter mit abnehmender Umdrehungsgeschwindigkeit.

Mathematisch streng genommen kann das Gleichgewicht der auf die Erdrotation entgegengesetzt influierenden Momente nur während eines ganz kurzen Zeitpunktes andauern, soferne den Augenblick vorher die Abkühlung, den Augenblick später die Ebbe und Flut überwiegt. In physischem Sinne aber, oder nach menschlichem Massstabe gemessen,

ist der Einfluss der Abkühlung und noch mehr der von Ebbe und Flut für einen sehr grossen Zeitraum als völlig konstant zu betrachten, so dass es also auch eine durch viele Jahrtausende hindurchgehende Periode geben muss, in welcher das Verhältnis der Gleichheit beider Einwirkungen nicht der geringsten wahrnehmbaren Veränderung unterworfen ist. In diesem Zeitraume hat der Sterntag seine kürzeste Dauer, oder die Rotationsgeschwindigkeit der Erde ihr Maximum erreicht, — ein Umstand, der nach den Gesetzen der Analysis dazu beiträgt, die Dauer dieser mittleren Periode des Erdlebens zu verlängern.

In die Periode der unveränderlichen Rotationsgeschwindigkeit fallen, wie aus der angeführten Berechnung von *Laplace* hervorgeht, die historischen Zeiten der Menschheit. Ob wir uns aber dermalen noch im Anfange, ob in der Mitte oder am Schlusse dieser Periode befinden, dies zu entscheiden fehlen uns die Anhaltspunkte, und wir müssen daher die Beantwortung dieser Frage kommenden Geschlechtern überlassen *).

Die fortschreitende Abkühlung der Erde kann nicht ohne Einfluss auf die Temperatur ihrer Oberfläche, auf das Klima, sein, und es haben sogar Naturforscher, *Buffon* an der Spitze, die Vermutung geäussert, das Klima unsres Planeten werde sich mit der Zeit, der zunehmenden Erkaltung der inneren Erde halber, bis zur völligen Erstarrung alles Lebens verschlimmern. Allein eine solche Befürchtung ist offenbar ganz unbegründet, da der Temperaturzustand der Erdoberfläche schon jetzt im allgemeinen weit mehr von dem Strahlen der Sonne, als von der aus der Tiefe aufsteigenden Wärme abhängt. Nach *Pouillets* Messungen (siehe oben Kapitel 3) erhält nämlich die Erde von der Sonne täglich 8000 Wärmekubikmeilen, wogegen die aus dem Innern der Erde auf die Oberfläche gelangende Wärme etwa auf 200 Wärmekubikmeilen per Tag ge-

---

*) Diese Frage hat bekanntlich in jüngster Zeit schon ihre Antwort gefunden. Man vergleiche den Vortrag „über Erdbeben“.

schätzt werden mag. Hieraus ergibt sich, dass die der Erdoberfläche von unten zufliessende Wärme der Sonnenwärme gegenüber zwar keineswegs als verschwindend klein zu betrachten ist, dass sie aber doch derselben quantitativ weit nachsteht.

Denkt man sich bei konstant andauerndem Strahlen der Sonne die untere Wärmezufuhr vermindert oder abgeschnitten, so müssen daraus mancherlei Veränderungen in der physischen Beschaffenheit der Erdoberfläche resultieren. Die Temperatur der Thermen wird allmählich bis auf die mittlere des Bodens herabgehen, die vulkanischen Eruptionen werden nach und nach erlöschen, die Erderschütterungen werden nicht mehr sein, und die Wärme des Meerwassers wird an manchen Orten eine merkliche Verminderung erfahren, woraus sich ohne Zweifel wichtige Veränderungen in den klimatischen Verhältnissen vieler Länder ergeben müssen. Insbesondere steht zu vermuten, dass in dem bis jetzt so sehr bevorzugten westlichen Europa ein Wärmeausfall sich zu erkennen geben wird, so dass vielleicht der wärmere Teil von Nordamerika zum dereinstigen Stützpunkte der Macht und Kultur unsres Geschlechtes bestimmt ist.

Sei dem aber wie ihm wolle, so lässt sich mindestens für die nächstkommenden Jahrtausende keine Temperaturverminderung der Erdoberfläche, durch Abkühlen der inneren Erdmasse herbeigeführt, voraussehen, wie denn auch in der Vergangenheit, soweit geschichtliche Urkunden zurückreichen, in den klimatischen Verhältnissen der Länder, in der Temperatur der Thermen, in der Stärke und Häufigkeit der vulkanischen Aktionen und der Erdbeben sich nichts wesentlich geändert hat.

Anders verhält es sich mit den sogenannten vorweltlichen Zeiten, aus denen uns zahlreiche Beweise hinterblieben sind, dass während langer Jahrhunderte der Erdboden durch unterirdisches Feuer erwärmt einem Treibhause geglichen habe, wo in den jetzt ganz unwirtlich gewordenen Polarländern riesengrosse pflanzenfressende Tiere ihre Nahrung

suchten und fanden, und baumartige Farnkräuter und tropische Schaltiere, deren Ueberreste uns namentlich in den Steinkohlenlagern aufbewahrt sind, allerorten zu Hause waren.

Anmerkungen des Herausgebers.

1. Vergl. *Gehlers* Physikalisches Wörterbuch, X 1842, S. 188, 659. — *Mayer* schrieb am 24. Oktober 1844 an *Baur* bei Behandlung von Fragen betreffend die Geschwindigkeit der Himmelskörper, die ihm zu Gebote stehenden litterarischen Hilfsmittel seien grösstenteils in *Gehlers* Physikalischem Wörterbuch vereinigt.

2. Die Grundzüge der im folgenden gegebenen „Meteoritentheorie“ finden sich bereits vollständig in der Mitteilung an die Pariser Akademie von 1846, „Kleinere Schriften und Briefe“, X 1.

3. Hier setzt *Mayer* für ein beliebiges Gewicht die Anzahl der „Grad Wärme“ gleich der Anzahl der per Kilogramm desselben gelieferten Wärmeeinheiten, oder auch gleich der Anzahl der per Gramm desselben gelieferten „Grad Wärme“ im früher erwähnten Sinne $\left(\frac{1}{1000}\text{ Wärmeeinheit}\right)$. Vergl. oben S. 130.

4. *Mayer* bezeichnet die Arbeitseinheit durch Kilogrammmmeter und Km. Da jedoch jetzt in Deutschland km die amtliche Abkürzung für Kilometer ist (seit 1878), so glaubte der Herausgeber die gebräuchlicheren Bezeichnungen Meterkilogramm und mk wählen zu sollen. *Mayer* selbst sagt Fusspfund, nicht Pfundfuss, und wendet im Vorwort zur zweiten Auflage und in Aufsatz IX den Namen Meterkilogramm an.

5. Es sind hier „Grad Wärme“, im Sinne von Anmerkung 3, oder Wärmeeinheiten per Kilogramm, gemeint. Da die Wärmeentwickelung proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit c sein soll, so hat man die Anzahl der Grad Wärme

$$w = n c^2,$$

und weil speciell

$$1 = n \,.\, 91^2,$$

so folgt der von *Mayer* angenommene Wert

$$n = \frac{1}{91^2} = 0{,}000\,12.$$

Mit w als Anzahl der Wärmeeinheiten per Kilogramm hat man aus der Aequivalenz von lebendiger Kraft und Wärme

$$\frac{m c^2}{2} = 425 \,.\, m g \,.\, w,$$

woraus wie oben

$$w = \frac{c^2}{2 \,.\, 425 \,.\, g} = 0{,}000\,12\; c^2.$$

Eine Masse, welche in diesem Sinne w Grad Wärme liefert, ergibt für eine ihr gleiche Masse Wasser eine Erwärmung um $w^0\ C$ (vorausgesetzt, dass man für jeden Grad Temperaturerhöhung die gleiche Wärmemenge von 1 Kalorie per Kilogramm rechnet).

6. Konstruktion des Instruments: *Poggendorffs* Annalen, 1834 XXXII, S. 661; Versuche *Herschels* mit demselben: Comptes rendus, 1836 II, p. 506.

7. Ueber Instrument und Versuche siehe: Mémoire sur la chaleur solaire, sur les pouvoirs rayonnants et absorbants de l'atmosphère et sur la temperature de l'espace. Comptes rendus, 1838 VI und VII, und *Poggendorffs* Annalen, 1838 XXXXV, S. 25, 481.

8. Eine Million $= 1000^2$, eine Billion $= 1000^4$, eine Trillion $= 1000^6$, eine Quadrillion $= 1000^8$, eine Quinquillion $= 1000^{10}$ u. s. w.

9. Der Name „Grosskalorie" kommt erst in der II. Auflage der „Mechanik der Wärme" 1874 vor. 1869 schrieb *Mayer* an *Reuschle*, der jene Bezeichnung zuerst verwendet hatte: Den Ausdruck „Wärme-Kubikmeile" habe ich dem Ausdrucke „Kilogrammmeter" gemäss zusammengesetzt, ich adoptiere aber sehr gerne dafür den Ausdruck „Gosskalorie". — „Kleinere Schriften und Briefe", XI 6.

10. Vergl. hiermit die Darstellung von 1846 für die Pariser Akademie. „Kleinere Schriften und Briefe", X 1.

11. Ueber „Physische Grenze der Anziehungssphäre" siehe S. 66.

12. In *Gehlers* Physikalischem Wörterbuch, X, Leipzig 1842, S. 1484.

13. *Bodes* Astronomisches Jahrbuch, 1826, S. 124. Vergl. Anmerkung 18.

14. Ueber die damaligen Anschauungen betreffend das Zodiakallicht berichtet *Littrow* in *Gehlers* Physikalischem Wörterbuch, X, Leipzig 1844, S. 2419—2426, und kommt zu dem Schlusse: „Immerhin werden wir die nähere Erklärung dieser merkwürdigen Erscheinung besser unsern späteren Nachkommen überlassen, statt jetzt schon Hypothesen aufzustellen, die vielleicht in der nächsten Folgezeit schon wieder als unhaltbar verworfen werden müssen."

15. Die Geschwindigkeit G kommt zuerst in einem Briefe *Mayers* an *Baur* vom 24. Oktober 1844 vor (vergl. „Kleinere Schriften und Briefe", VI 17), sodann in der „Organischen Bewegung" von 1845 (siehe oben S. 167). 1870 beruft sich *Mayer* in seinem Vortrage „Ueber die Bedeutung unveränderlicher Grössen" darauf, dass er die Zahl G

vor 25 Jahren gefunden und veröffentlicht habe. Bei der Wichtigkeit, welche *Mayer* dieser „Charakteristik“ des Systems des anziehenden Körpers beilegt, soll im folgenden eine Ableitung derselben in Verbindung mit einfacher Entwicklung einiger andrer von *Mayer* angewandter Formeln gegeben werden.

A und B seien zwei Massen, O ein Punkt in der Verbindungsgeraden ihrer Mittelpunkte; in dieser wirken an A und B zwei Kräfte von gleicher Grösse S und entgegengesetzten Richtungen, durch welche allein die Aenderungen der Geschwindigkeiten u, v von A, B hinsichtlich O bedingt sind. Dann liefern die Grundgleichungen der Mechanik zwischen Kräften und Beschleunigungen für ein Zeitelement dt

$$A \frac{du}{dt} = S, \qquad B \frac{dv}{dt} = -S.$$

Die Wege der Massen A, B hinsichtlich des Punktes O im Zeitelement dt sind

$$u\,dt, \qquad v\,dt.$$

Multipliziert man mit denselben die darüber stehenden Gleichungen und addiert, so folgt

$$A u du + B v dv = S(u dt - v dt) = -S de,$$

unter de die Aenderung der Entfernung e der Massenmittelpunkte von A, B während jenes Zeitelements verstanden. Die Integration liefert

$$\frac{A u^2}{2} + \frac{B v^2}{2} = -\int S de, \qquad 1)$$

und speciell, wenn A, B nach dem *Newton*schen Gravitationsgesetze

$$S = k \frac{A B}{e^2} \qquad 2)$$

aufeinander wirken, worin k eine Konstante bedeutet,

$$A u^2 + B v^2 = 2 k \frac{A B}{e} + Konst. \qquad 3)$$

Beginnt die Bewegung im Abstande $e = h$ der Massen A, B mit den Geschwindigkeiten $u = v = o$, so ist nach 3) zu Anfang

$$0 = 2 k \frac{A B}{h} + Konst.,$$

und handelt es sich um die Bewegungsverhältnisse im Abstande $e = h'$ beider Massen, wofür die Geschwindigkeiten $n = c$, $v = c'$ sein mögen, so hat man nach 3)

$$A c^2 + B c'^2 = 2 k \frac{A B}{h'} + Konst.$$

Durch Subtraktion der vorletzten Gleichung von der letzten folgt

$$A c^2 + B c'^2 = k\, A\, B \frac{h - h'}{h\, h'}, \qquad 4)$$

welche Gleichung der *Mayer*schen Formel auf S. 50 entspricht.

Ist die Masse A gegen die Masse B verschwindend klein und man lässt dann den Punkt O mit dem Mittelpunkte von B zusammenfallen, so liefert 4) wegen $c' = 0$

$$c^2 = 2kB\frac{h - h'}{hh'}. \qquad 5)$$

Die Beschleunigung von A gegen B ist allgemein

$$f = \frac{S}{A} = \frac{kB}{e^2}. \qquad 6)$$

Wenn jedoch $h - h'$ gegen h verschwindend klein, so kann man, anstatt des vorstehenden, mit e variabeln f, konstant setzen

$$f = \frac{kB}{hh'},$$

womit aus 5)

$$Ac^2 = 2fA(h - h') = 2P(h - h'), \qquad 7)$$

unter $P = fA$ das Gewicht von A verstanden. Dies ist die von *Mayer* gemeinte Formel auf S. 51.

Nach 6) hat man für den Fall eines beliebigen Körpers A nach einem kugelförmig gedachten Weltkörper B, wenn $e = r$, $f = g$ speciell der Oberfläche des letzteren entsprechen,

$$fe^2 = gr^2 = kB, \qquad 8)$$

und damit aus 5) für die Geschwindigkeit c, welche der Körper A verlangt, wenn er mit der Geschwindigkeit 0 beginnend von $e = h$ bis $e = h'$ gegen B fällt,

$$c^2 = 2gr^2\frac{h - h'}{hh'}. \qquad 9)$$

Speciell für den Fall von $h = \infty$ bis $h' = r$ folgt hieraus für die von *Mayer* mit G bezeichnete Maximalgeschwindigkeit

$$G^2 = 2gr^2\frac{\infty - r}{\infty . r},$$

das heisst

$$G = \sqrt{2gr}, \qquad 10)$$

woraus *Mayer* für den Fall auf die Erde $G = 11183$ Meter, für den Fall auf die Sonne $G = 630400$ Meter berechnet (S. 167).

Aus 9) mit 10) folgt für den Fall eines anfänglich ruhenden Körpers von h bis h'

$$c = G\sqrt{\frac{h - h'}{hh'}r}. \qquad 11)$$

Werden hierin die Grössen rechts in Meter eingesetzt, so ergibt sich auch c in Meter. Werden jedoch h, h' in Einheiten gleich dem Halbmesser r eingesetzt, so folgt in den für G gültigen Einheiten, also beispielsweise auch in Meter

$$c = G\sqrt{\frac{h - h'}{hh'}}. \qquad 12)$$

Dies ist die von *Mayer* in der Anmerkung auf S. 60 angeführte Formel. Fällt der Körper A aus der Entfernung h bis zur Oberfläche des Weltkörpers B, dann liefert 12) mit $h' = 1$ die von *Mayer* ebenfalls angeführte Formel (siehe S. 169)

$$c = G\sqrt{\frac{h-1}{h}}. \qquad 13)$$

Die während des Falls von h bis h' eines Körpers der Masse m verbrauchte „Fallkraft“

$$F = \frac{m\,c^2}{2} \qquad 14)$$

verhält sich zur ganzen (von unendlicher Entfernung bis zur Oberfläche des anziehenden Weltkörpers) verfügbaren Fallkraft desselben, das heisst zu

$$E = \frac{m\,G^2}{2}, \qquad 15)$$

wie c^2 zu G^2, wir haben mit Rücksicht auf 11)

$$\frac{F}{E} = \frac{c^2}{G^2} = \frac{h-h'}{h\,h'}\,r, \qquad 16)$$

oder wenn h, h' in Einheiten gleich r gemessen werden

$$\frac{F}{E} = \frac{c^2}{G^2} = \frac{h-h'}{h\,h'}. \qquad 17)$$

Für terrestrische Höhen sind r, h, h' so wenig verschieden, dass man nach 16) mit *Mayer* setzen kann (S. 60)

$$\frac{F}{E} = \frac{c^2}{G^2} = \frac{h-h'}{r}. \qquad 18)$$

Durch Herabfallen einer Masse m von 15 Fuss Höhe wird hiernach, wenn $r = 19\,609\,050$ Fuss, eine lebendige Kraft erhalten

$$F = \frac{m\,G^2}{2}\,\frac{15}{19\,609\,050},$$

wofür *Mayer* rund setzt (S. 61)

$$F = \frac{1}{1\,300\,000}\,\frac{m\,G^2}{2}.$$

16. Für die auf S. 168 angeführte Geschwindigkeit eines planetarischen Körpers in irgend einem Punkte seiner Bahn hat *Mayer* in einem Briefe an *Baur* vom 30. November 1844 eine Ableitung gegeben (siehe „Kleinere Schriften und Briefe“ VI 19), welche mit Aenderung der Formelnummern wie folgt lautet:

„Ist die Geschwindigkeit eines planetarischen Körpers im Aphel gleich $x\ G$, im Perihel gleich $y\ G$, die halbe grosse Achse gleich a, die halbe Distanz der Brennpunkte gleich b, so ist nach dem zweiten *Kepplers*chen Gesetze

$$x : y = (a-b) : (a+b). \qquad I)$$

Die Zunahme an Bewegungsgrösse, welche der Planet während seiner Wanderung vom Aphel ins Perihel erhält, ist eine Wirkung des Fal-

lens. Ein Gewicht, das aus der Entfernung $a + b$ auf die Entfernung $a - b$ herabfällt, erhält die Geschwindigkeit $G\sqrt{\frac{2b}{a^2 - b^2}}$ (siehe Nr. 12). Nach dem Prinzip ist nun

$$x^2 G^2 + \frac{2b}{a^2 - b^2} G^2 = y^2 G^2, \qquad \text{II)}$$

und mittelst der Algebra ersten Grades findet man aus I) und II)

$$x = \sqrt{\frac{a - b}{2a(a + b)}}.$$

Nun soll ein Gewicht aus der Entfernung h auf das Aphel herabgefallen sein, und dort die gleiche Geschwindigkeit erlangt haben, welche der Planet im Aphel hat; dann ist

$$G\sqrt{\frac{h - (a + b)}{h(a + b)}} = G\sqrt{\frac{a - b}{2a(a + b)}},$$

woraus folgt $h = 2a$. Erwägt man ferner, dass der Planet beim Fortrücken in seiner Geschwindigkeit ebenso durch die Annäherung an die Sonne beschleunigt wird, wie das aus $2a$ herabfallende Gewicht, so sieht man, dass der Planet in jedem Punkte der Bahn dieselbe Geschwindigkeit haben müsse, als ein von $2a$ dorthin gefallenes Gewicht. Nach 12) ist aber die Geschwindigkeit des Gewichts in der Entfernung r gleich $G\sqrt{\frac{2a - r}{2ar}}$.“

Ein planetarischer Körper, welcher im Aphel bereits die Geschwindigkeit

$$Gx = \sqrt{\frac{a - b}{2a(a + b)}}$$

hat, erlangt unter dem Einflusse der Sonnenanziehung allein von $e = a + b$ bis zu einem beliebigen $e = h$ zufolge 12) eine weitere lebendige Kraft proportional

$$G^2 \frac{a + b - h}{(a + b)h}$$

und erreicht damit, der *Mayer*schen Angabe entsprechend, eine Geschwindigkeit C, bestimmt durch

$$C^2 = G^2 \frac{a - b}{2a(a + b)} + G^2 \frac{a + b - h}{(a + b)h},$$

das heisst

$$C = G\sqrt{\frac{2a - h}{2ah}}. \qquad \text{19)}$$

Das ist die von *Mayer* angeführte Formel (S. 168), welche, wie er selbst fand, im Einklange mit der *Laplace*schen Formel

$$C = \mu\sqrt{\frac{2a - h}{ah}} \qquad \text{20)}$$

steht („Kleinere Schriften und Briefe“, VI 18).

17. Die Ableitung ist in der Anmerkung 15 gegeben (Formel 13 derselben).

18. *Mayer* hat hier wohl die Stelle der „Principia“ (Uebersetzung von *Wolfers*, Berlin 1872 S. 506) im Auge: „Der im Jahre 1680 erschienene Komet war in seinem Perihel kaum um $^1/_6$ des Durchmessers der Sonne von dieser entfernt, und wegen der ausserordentlich grossen Geschwindigkeit, welche er damals hatte, und der Dichtigkeit, welche die Atmosphäre der Sonne haben kann, musste er einigen Widerstand erleiden, seine Bewegung also ein wenig verzögert werden und er selbst näher zur Sonne kommen. Wenn er fortfährt, sich bei jedem Umlauf der Sonne mehr zu nähern, so wird er zuletzt auf die Sonnenkugel fallen. Im Aphel, wo seine Bewegung am langsamsten ist, kann er durch die Anziehung der andern Kometen verzögert werden und plötzlich auf die Sonne fallen. So können die Fixsterne, welche sich nach und nach durch Strahlung und Ausdünstung erschöpfen, mittelst der auf sie fallenden Kometen erneuert werden und auch, indem sie sich mittelst dieser neuen Nahrung entzünden, als neue Sterne sichtbar werden. Von dieser Art sind diejenigen Fixsterne, welche plötzlich erscheinen, im Anfange sehr glänzend sind und hierauf nach und nach verschwinden.“ Vergl. über diese Stelle das Gespräch von *Newton* mit *Conduit* in „*Sir Isaac Newtons* Leben, nebst einer Darstellung seiner Entdeckungen“, von *Brewster*, Deutsch von *Goldberg*, Leipzig 1833, S. 305.

19. Diese merkwürdige Ansicht ist wohl die Folge von Anschauungen, über welche sich *Mayer* in Aufzeichnungen aus den sechziger Jahren wie folgt äussert: „Zu damaliger Zeit [1841] waren es noch zwei Hauptirrthümer, die den Gang meiner Gedanken störten und mich zu keiner klaren Anschauung der Dinge kommen lassen wollten. In den Kompendien der Physik war nämlich damals, neben der Lehre vom Parallelogramm der Kräfte, häufig mc als Mass der Bewegung angegeben und dieses, verbunden mit einem Ueberreste von aus der *Kant*schen naturphilosophischen Schule herstammenden Begriffen einer Centripetal- und Centrifugalkraft führte mich in ein Labyrinth von Hypothesen und Widersprüchen. So hatte ich z. B. noch von See her die ganz verkehrte Vorstellung mitgebracht, dass die fortdauernde Sonnenausstrahlung als die der centripetalen Aktion der Planeten- und Kometenbewegungen entsprechende Centrifugalthätigkeit des Centralkörpers zu betrachten sei.“ (Vergl. „Kleinere Schriften und Briefe“, XIX 1, V, VI 1, 5, 8).

In einem Briefe an *Baur* vom 16. August 1841 bemerkt *Mayer* im Einklange mit dem vierten Absatze auf S. 178: „Das Leuchten der Sonne ist die den peripherischen Bewegungen entsprechende centrale Bewegung im Planetensystem. Damals bewegte sich aber *Mayer* noch in dem angeführten „Labyrinth von Hypothesen und Wider-

sprüchen“ und dachte sich insbesondere die Erhaltung der Sonnenenergie ganz anders als in der „Dynamik des Himmels“. In dem 1846 an die Pariser Akademie gesandten Aufsatze *Mayers* „Sur la production de la lumière et de la chaleur du soleil“ ist die irrtümliche Vorstellung bezüglich eines Fortgedrängtwerdens der vibrierenden Massenteile nicht enthalten.

20. *John Frederic William Herrschel*, A treatise on Astronomy. (Ein Teil von *Lardners* Cabinet Cyclopaedia, London 1836, Deutsch von *Michaelis*, Leipzig 1838) Cap. V § 330.

21. Bezüglich der hier behandelten Einwirkungen vergleiche in „Kleinere Schriften und Briefe“ die Darstellung für die Pariser Akademie, X 6, und die Briefe an *Reuschle*, XI 2, 3.

22. *Newton*, Principia etc., Deutsch von *Wolfers*, Berlin 1872, S. 448—455, 538—549; *Laplace*, Traité de mécanique céleste, Paris, II 1799 p. 171—298, V 1825 p. 145—244, daselbst auch historische Notizen p. 145—167; Zusammenfassung von Resultaten von *Newton* und *Laplace* in *Gehlers* Physikalischem Wörterbuch, III, Leipzig 1827, S. 3—63.

23. Vergl. *Laplace*, Traité de mécanique céleste, II, Paris 1799, p. 347.

24. *Laplace*, Traité de mécanique céleste, II, Paris 1799 p. 997.

25. Siehe den Aufsatz *Mayers* von 1845: Worin liegt der Grund von der Wirkung des Wildbader Thermalwassers“, „Kleinere Schriften und Briefe“, IX 1; vergl. S. 40.

26. *Laplace*, Traité de mécanique céleste Paris II 1799 S. 299—355, V 1825 p. 16—21, 72—85. Als Schlussresultat seiner Untersuchungen erwähnt *Laplace* wiederholt (III p. 176, V p. 21, 362): „Il es donc certain que depuis *Hypparque* la durée du jour n'a pas varié d'un centième de seconde“ (centesimale). Vergl. auch den Artikel „Beständigkeit des Tages“ in *Gehlers* Physikalischem Wörterbuch, IX, Leipzig 1838 S. 54—67.

27. Ueber die um das Jahr 1840 vertretenen Erklärungen der vulkanischen Erscheinungen berichtet *Gehlers* Physikalisches Wörterbuch, IX, Leipzig 1840, S. 2274 u. f., wo auch die *Cordier*sche Theorie aus dem von *Mayer* angeführten Grunde verworfen wird.

28. Den ersten Satz dieser Anmerkung hat *Mayer* 1867 der ersten Auflage, den zweiten 1874 der zweiten Auflage beigefügt, nachdem er inzwischen 1870 den Vortrag „Ueber Erdbeben“ (siehe den folgenden Aufsatz VIII) gehalten und darin bemerkt hatte, dass wir uns nach der Berechnung des englischen Astronomen *Adams* bereits zu Anfang der dritten Periode der Erdrotationsgeschwindigkeit befinden.

Robert Mayer.

23.

In der Sitzung der Pariser Akademie der Wissenschaften vom 23. August 1847 wurde ein Aufsatz von *James Prescott Joule*[1]) in Manchester vorgelegt, in welchem derselbe berichtete, dass er seit vier Jahren Versuche zur Entscheidung der Frage angestellt habe, ob die Wärme das Aequivalent der mechanischen Arbeit sei. Als Zahlenwerte des mechanischen Wärmeäquivalentes führte er auf Grund verschiedener Versuchsreihen 428,8, —429,1, —432,1 Meterkilogramm an.

Die Auffassung *Joules* wurde in der Sitzung der Akademie vom 20. September 1847 durch *Séguin* mit dem Hinweise darauf unterstützt, dass er schon im Jahre 1839 die von seinem Onkel *Montgolfier* übernommene Ansicht vertreten habe, Wärme und Bewegung seien von gleicher Natur, in einander verwandelbar und nur der Form nach verschiedene Wirkungen ein und derselben Ursache. Die von *Joule* erhaltenen Resultate gäben der Meinung des berühmten Mannes (*Montgolfier*), welcher dieselben Ideen schon vor mehr als 50 Jahren ausgesprochen habe, eine solche Kraft, dass er (*Séguin*) der Akademie die grossen Konsequenzen unterbreiten zu sollen glaube, welche man daraus ziehen zu können scheine. Versuche *Séguins* über die Expansion des Wasserdampfes unter Temperaturerniedrigung sollten das mechanische Wärmeäquivalent von 395 bis 529, im Mittel zu 449 Meterkilogramm ergeben haben.

Ein Artikel des *Journal des débats* vom 15. September 1848

---

[1]) Der Aufsatz und die im folgenden weiter erwähnten Noten von *Joule* und *Mayer* sind in „Kleinere Schriften und Briefe“ unter X abgedruckt.

nahm die Priorität der Entdeckung der Aequivalenz von Wärme und Arbeit für französische und englische Physiker in Anspruch.

Nun schrieb *Mayer* an die Akademie, um seine Priorität zu wahren (Sitzung vom 16. Oktober 1848). Nach einem Hinweise auf den 1846 eingesandten Aufsatz über die Erzeugung von Licht und Wärme der Sonne, aus welchem einige Sätze citiert werden, fährt er fort: „Cette loi de transformation de la force vive en chaleur et vice versâ me parait attirer en ce moment l'attention des savants français. C'est pourqoui je crois devoir rappeler que c'est moi qui l'ai decouverte le premier et prononceé en termes non équivoques.“ Dies wird an der Hand der *Mayer*schen Aufsätze von 1842, 1845 und 1846 nachgewiesen und weiter erwähnt, dass er das Gesetz 1840 zu Surabaya auf Java gefunden habe.

Joule antwortete mit Aufzählung der von ihm in der Sache publizierten Schriften und gewonnenen Resultate (Sitzung vom 22. Januar 1849). Er sei durch Experimente zu den letzteren gekommen, ohne die geringste Kenntnis davon, dass *Mayer* über diesen Gegenstand 1842 geschrieben habe. Vor seinen Versuchen seien keine Thatsachen bekannt gewesen, auf welche man mit Sicherheit den Schluss hätte gründen können, dass die spezifische Wärme eines Gases in den verschiedenen Stadien seiner Dichtigkeit den gleichen Wert besitze. Der *Mayer*sche Schluss, weil nicht in Uebereinstimmung mit den damals bekannten Thatsachen, habe nicht die Aufmerksamkeit der Gelehrten erregen sollen. Jedermann werde die Gelehrsamkeit *Mayers* schätzen, die aufzustellende Zahlenbeziehung zwischen Wärme und Arbeit vorausgesagt zu haben, aber man könne nicht leugnen, dass er, *Joule*, zuerst die Existenz des mechanischen Wärmeäquivalentes nachgewiesen und seinen Zahlenwert durch unwiderlegliche Versuche festgestellt habe.

Mayer gab in seiner Erwiderung zu (Sitzung vom 12. September 1849), dass der *Joule*sche Einwand gegen seine Priorität begründet sein würde, wenn nicht das von *Joule* angezogene Resultat, dass ein Gas, welches sich ohne Leistung mechanischer Arbeit in einem leeren Raum ausbreitet, keine Temperaturänderung erleide, schon vor ziemlich langer Zeit (im Jahre 1807) von *Gay-Lussac* experimentell bewiesen worden wäre. Aus dem *Gay-Lussac*schen Versuche, auf welchen er sich in seiner „Orga-

nischen Bewegung“ ausdrücklich berufen habe [1]), gehe offenbar hervor, dass die spezifische Wärme eines Gases durch Verdünnung des letzteren nicht geändert werde. Uebrigens sei er überzeugt, dass *Joule* seine Entdeckungen gemacht habe, ohne diejenigen *Mayers* zu kennen, und er gestehe, dass die zahlreichen Verdienste dieses berühmten Physikers ihm grosse Achtung einflössten. Aber nichtsdestoweniger glaube er in seinem Rechte zu sein, wenn er wiederhole, dass er zuerst, im Jahre 1842, das Gesetz der Aequivalenz von Wärme und Arbeit nebst seinem numerischen Ausdruck veröffentlicht habe.

Joule antwortete vorläufig nicht mehr.

24.

In Deutschland entwickelten sich die Verhältnisse den ursprünglichen optimistischen Erwartungen *Mayers* gegenüber nicht besser als in Frankreich. Eine Schrift von *Holtzmann*, „Ueber die Wärme und Elasticität der Gase und Dämpfe“, Mannheim 1845, in welcher das mechanische Wärmeäquivalent ohne Bezugnahme auf *Mayer* aus der Differenz der spezifischen Wärme atmosphärischer Luft bei konstantem Drucke und konstantem Volumen berechnet war, erschien noch kurz vor Ausgabe der „Organischen Bewegung“ [2]). *Holtzmann* erhielt auf Grund der in Betracht gezogenen Versuchsresultate als mittleren Wert des Wärmeäquivalents 374 Meterkilogramm, während sich als niedrigster und höchster Wert 343 und 429 ergaben. Ein Auszug der *Holtzmann*schen Arbeit, in welcher übrigens die neue Anschauung nicht konsequent durchgeführt war [3]), wurde 1848 durch *Poggendorffs* Annalen (II. Ergänzungsband S. 183—191) in den Kreisen der Physiker allgemein bekannt gemacht.

Im Jahre 1847 erschien der erste Band der neuen Jahresberichte der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin, durch welche die Fortschritte der physikalischen Wissenschaften schnell und vollständig zur Kenntnis des hiefür interessierten Publikums gebracht werden sollten. Im Vorbericht war darauf hingewiesen,

---

[1]) Siehe oben S. 53.

[2]) Die oben S. 96 von *Mayer* gemachte Angabe nach *Holtzmann* bezieht sich auf S. 36, Formel 4) der *Holtzmann*schen Broschüre.

[3]) Vergl. auch *Poggendorffs* Annalen, 1851 LXXXII, S. 445.

dass die Vollständigkeit nicht gleich von Anfang an erreichbar sei. Der erste Band behandelte die Fortschritte der Physik im Jahre 1845, in welchem die „Organische Bewegung“ *Mayers* erschienen war, er brachte Referate über wärmetheoretische Arbeiten von *Holtzmann*, *Joule*, *Liebig*, in der Besprechung von *Liebigs* Aufsatz „Ueber die tierische Wärme“ ging *Helmholtz* auf die Frage der „Konstanz des Kraftäquivalents“ im allgemeinen ein, *Mayer* aber blieb unerwähnt.

Im gleichen Jahre erschien eine Broschüre von *Helmholtz*, „Ueber die Erhaltung der Kraft“, Berlin 1847, in welcher ähnliche Ansichten wie die in den beiden ersten Aufsätzen *Mayers* vertretenen unter gewissen Voraussetzungen auf die Grundgleichungen der Mechanik begründet wurden. *Helmholtz* ging davon aus: 1. dass die Einwirkungen der Körper auf einander sich reduzieren lassen auf Kräfte zwischen unbeschränkt kleinen Massenpunkten; 2. dass Aktion und Reaktion zwischen je zweien der letzteren numerisch gleich sind; 3. dass die Wechselwirkung zweier Massenpunkte durch Einwirkung dritter nicht geändert wird. Unter diesen Voraussetzungen ergeben die bekannten mechanischen Grundbeziehungen zwischen Kräften und Beschleunigungen das ältere Prinzip von der Erhaltung der lebendigen Kraft für den Fall, dass die erwähnten Grundkräfte in den Verbindungsgraden wirken und nur von den Entfernungen abhängen (Zentralkräfte). Irrtümlicher Weise sah nun *Helmholtz* in dem Eintreten des Prinzips von der Erhaltung der lebendigen Kraft eine notwendige Voraussetzung für die Unmöglichkeit eines perpetuum mobile oder der Erhaltung der Energie, wodurch die letztere an Bedingungen geknüpft wurde (Zentralkräfte), welche sich später auch unter den obigen Voraussetzungen 1) bis 3) nicht aufrecht erhalten liessen [1]). Der mathematische Ausdruck des Prinzips von der Erhaltung der Energie entstand bei *Helmholtz* durch Umformung des bekannten Ausdrucks für das Prinzip von der Erhaltung der lebendigen Kraft. Bezüglich des mechanischen Wärmeäquivalents berief sich *Helmholtz* auf die Arbeiten von *Joule* und *Holtzmann*, von *Mayer* war auch hier nicht die Rede.

Das Jahr 1850 brachte den Bericht der Physikalischen Ge-

---

[1]) Man vergleiche: *Helmholtz*, Wissenschaftliche Abhandlungen I, Leipzig 1882 S. 68. — Allgemeinere Formulierungen siehe im Anhang B zu Aufsatz IV.

sellschaft in Berlin über „Die Fortschritte der Physik im Jahre 1847“. Unter der Rubrik „Physiologische Wärmeerscheinungen“ besprach *Helmholtz* ausführlich seine Arbeit „Ueber die Erhaltung der Kraft“ und führte neben einem seiner Aufsätze, „Ueber die Wärmeentwickelung bei der Muskelaktion“, und einer Schrift von *Donders*, „Der Stoffwechsel als die Quelle der Eigenwärme bei Pflanzen und Tieren“, Wiesbaden 1847, von *Mayer* an: „Die organische Bewegung im Zusammenhang mit dem Stoffwechsel“ und die auf S. 225 erwähnte erste Antwort an *Joule*. Das Referat über die *Mayer*schen Arbeiten lautet: „Die Schriften von *Mayer* und *Donders* sind der Vollständigkeit wegen citiert. Sie enthalten Zusammenstellungen der bekannten Fakta, im wesentlichen von denselben Gesichtspunkten aus angesehen, wie es der Referent im Jahresbericht für 1845 gethan hat [1])“.

25.

Das „sturmbewegte Jahr 1848“ griff auch in das bisher so glückliche Familienleben *Mayers* störend ein. Am 19. August 1848 schrieb er an seine Schwiegereltern: „Mit blutendem Herzen teilen wir Ihnen die Trauerbotschaft mit, dass unsre innigst geliebte *Anna* nach hartem Leiden diesen Mittag in eine bessere Welt hinübergegangen ist.“ Und schon sechs Tage später hatte er beizufügen: „Ein furchtbares Geschick, das Ihre Kinder erleiden! Unsre innigst geliebte *Julie* geht unaufhaltsam ihrem Tode entgegen. Der schreckliche Husten kehrt immer und immer wieder und lässt ihren Lungen, wohin sich die Krankheit geworfen, keinen Frieden. Nur der feste Glaube an die göttliche Leitung aller menschlichen Dinge kann uns Fassung geben.“ Das Kind starb noch am selben Tage.

In Bezug auf seine Stellung zu den politischen Tagesfragen bemerkt *Mayer* in späteren Aufzeichnungen: „Die öffentlichen Angelegenheiten nahmen mich neben einer angestrengten Praxis damals wie so viele andre sehr in Anspruch, und indem ich durch Wort und That das Meinige zur Erhaltung der staatlichen Ordnung beizutragen bemüht war, konnte es nicht fehlen, dass

---

[1]) Eine Zusammenstellung der Referate über *Mayers* Schriften in den „Fortschritten der Physik“ ist in „Kleinere Schriften und Briefe“ unter XIII gegeben.

der Hass einer fanatisierten Menge sich auch, und zwar oft vorzugsweise gegen mich richtete."

Rümelin ergänzt diese Andeutungen wie folgt: „*Mayer* war nur kurze Zeit von dem Taumel der Märztage ergriffen und trat bald sehr entschieden auf die Seite der Autorität zurück, was einem verständigen und gebildeten Manne damals gerade in Heilbronn näher gelegt wurde als anderwärts. Er hat zwar keine politische Rolle gespielt, da öffentliches Reden nicht seine Sache war, sprach aber seine Ansichten ungescheut mit Witz und Spott und oft in drastischer Weise gegen jedermann aus. Sein Bruder *Fritz* dagegen, der die gleiche Familieneigenschaft starrer Konsequenz und unbeugsamer Ueberzeugung besass, trat auf die entgegengesetzte Seite und war eines der Häupter der Heilbronner Exaltados. Von den beiden Brüdern, die bis dahin in den innigsten Beziehungen gelebt hatten und auch jetzt den persönlichen Verkehr nicht abbrachen, stand nun jeder auf dem äussersten Flügel der feindlichen Parteien, und sie wurden für die Menge gleichsam die typischen Vertreter der Gegensätze. *Mayer* ward auf der Strasse mit den Rufen: ‚*Kain*, Brudermörder' verfolgt. Im Jahre 1849 zur Zeit des badischen Aufstandes nahm die Sache eine ernstere Wendung. Der Bruder zog an der Spitze von Heilbronner Freischärlern den Aufständischen zu Hilfe. Die zurückgelassene Frau desselben verlangte von dem Schwager, mit ihr dem Manne nachzureisen und ihn zur Rückkehr in sein Haus und Geschäft zu bereden. Sehr ungern und von den Seinigen aufs dringendste abgemahnt, hielt er es schliesslich doch für Pflicht und Ehrensache, die Schwägerin zu begleiten. In dem badischen Städtchen Sinzheim wurde er von Heilbronner Freischärlern erkannt und sofort verhaftet. Man sprach von Verrat, Auskundschaftung, Verleitung zur Desertion, und es handelte sich in der That um nichts Geringeres, als dass er als Spion erschossen werden sollte. Unter den Landsleuten war jedoch einer, welcher *Mayer* näher kannte, zum Hausarzt hatte, erst kürzlich von ihm beraten worden war; dieser trat für ihn ein, und es gelang ihm, den Antrag durchzusetzen, dass die Sache an die höhere Instanz gebracht werde. *Mayer* wurde als Gefangener in das Hauptquartier vor den ‚Kriegsminister' *Sigel* geführt. Als dieser sah, dass nichts Thatsächliches vorgebracht werden konnte, ausser dass er in der württembergischen Stadt Heilbronn für einen Hauptreaktionär gelte, so meinte er: alle

Reaktionäre könne er doch nicht wohl erschiessen lassen, und liess ihn frei. Er kehrte auf Umwegen nach Heilbronn zurück, wo die Seinigen durch die Nachricht von seiner Verhaftung in die äussersten Befürchtungen versetzt worden waren [1]). Die beiden Brüder *Mayers* — denn auch der zweite Bruder, Apotheker in eben jenem Sinzheim, war Freischarenhäuptling geworden — scheinen den ganzen Vorgang erst später erfahren zu haben. *Mayer* hatte zwar in der ganzen Sache keine Spur von Furcht und Schwäche gezeigt, aber ohne tiefe Aufregungen hatte sie doch nicht ablaufen können.“

26.

Indessen liess *Mayer* auch in diesen Zeiten sein Hauptziel nicht aus dem Auge. Am 14. Mai 1849 brachte die damals in Gelehrtenkreisen viel gelesene „Allgemeine Zeitung“ zu Augsburg einen kurzen Artikel *Mayers*, dessen etwas auffallender Titel: „Wichtige physikalische Erfindung“ die Absicht verrät, das Schweigen um ihn endlich zu durchbrechen. Er begann: „Es ist mir gelungen, ein einfaches Verfahren aufzufinden, um die von mir entdeckte Aequivalenz der Wärme und der mechanischen Arbeit oder die Umwandlung der Bewegung in Wärme et vice versa (vergl. unter anderm meine Abhandlung über die Kräfte der unbelebten Natur in *Wöhler* und *Liebigs* Annalen, Maiheft 1842) durch ein leichtes Experiment zu konstatieren, und die betreffende Aequivalentenzahl mit aller wünschenswerten Schärfe direkt zu bestimmen.“ Nach einigen Andeutungen über den betreffenden Apparat schloss die Mitteilung: „Indem ich, veranlasst durch einen im ‚Journal des débats‘ vom 15. September v. J. enthaltenen Artikel, hier zugleich mein Prioritätsrecht auf die Entdeckung des genannten Prinzips samt den daraus von

---

[1]) In Briefen aus Sinzheim und Heidelberg vom 15. Juni 1849 führt *Mayer* nichts von den geschilderten Erlebnissen an, sondern bemerkt nur: „Ich werde dir vieles von der Reise erzählen können. — Die ganze Reise wird mir eine sehr interessante Erinnerung bleiben“. Doch entspricht die Darstellung *Rümelins* vollständig der Erinnerung von Frau Dr. *v. Mayer*, während der Sohn *Fritz Mayers* in einer Zuschrift an den Herausgeber nur beanstandete, dass *Robert Mayer* auf Veranlassung seiner Mutter mitgegangen sei, er habe dieselbe trotz ihrer Einsprache und ihrer Befürchtungen für ihn bei der beabsichtigten Ueberbringung geforderter Gegenstände freiwillig begleitet.

mir für die Physiologie, die Mechanik des Himmels u. s. w. gezogenen Konsequenzen gegen etwaige auf ein jüngeres Datum sich stützende Ansprüche englischer und französischer Naturforscher öffentlich gewahrt wissen will, bemerke ich schliesslich, dass ich gerne bereit sein werde, über den berührten Gegenstand nähere Auskunft zu erteilen."

Ein Bedürfnis hierzu scheint nicht vorhanden gewesen zu sein. Dagegen erschien in der „Allgemeinen Zeitung" eine Erwiderung mit der Ueberschrift: „Dr. *Mayers* neue physikalische Entdeckung" und der Unterschrift „Dr. *Otto Seyffer*", welche wie folgt begann: „Die neue physikalische Entdeckung, welche Herr Dr. *Mayer* von Heilbronn vor wenigen Tagen in diesen Blättern ankündigte, bedarf für den Mann von Fach keiner näheren Erörterung, da er dieselbe auf den Standpunkt zurückzuführen weiss, der ihr zukommt, der Leser aber, welcher in solchen Dingen unbewandert ist, wird eine Erläuterung derselben nach dem Stande der Wissenschaft gerne vernehmen. Herr *Mayer* hat schon vor mehreren Jahren in den „Annalen der Chemie und Pharmazie" einen Aufsatz über die Kräfte der unbelebten Natur bekannt gemacht und daselbst eine Menge von unhaltbaren Ansichten über die Naturkräfte aufgestellt. Auf diesen Aufsatz beruft er sich auch bei seiner neuen vermeintlichen Entdeckung. Auf denselben näher einzugehen, ist hier nicht der Platz; die Verwirrung, welche darin zwischen den Begriffen Kraft, Ursache, Wirkung etc. herrscht, und die Deductionen, welche er daraus zieht, sind schon hinlänglich in ihrer Unhaltbarkeit in wissenschaftlichen Organen beleuchtet worden." Weiter heisst es, wie Herr *Mayer* sich den Satz von der Erzeugung der Wärme durch Bewegung und umgekehrt denke, „dass eine wirkliche Metamorphosierung zwischen Wärme und Bewegung stattfinde, ist er ein vollkommen unwissenschaftliches, allen klaren Ansichten über die Naturthätigkeit widersprechendes Paradoxon". Nach ähnlichen abfälligen Aeusserungen über den von *Mayer* erwähnten Apparat schliesst der Artikel: „Von dem Uebergang der Bewegung in Wärme, oder davon, dass die Wärme als Aequivalent der Bewegung oder umgekehrt gelten kann, kann also keine Rede sein, wenn man sich nicht leeren Voraussetzungen hingibt; es steht somit auch diese Wahrnehmung des Herrn Med. Dr. *Mayer* in keiner Verbindung mit den Experimentaluntersuchungen des grossen englischen Physikers *Michael Faraday*,

mit denen man sie leicht in Zusammenhang bringen könnte, und welche dahin gehen, die sogenannten primitiven Naturkräfte als verschiedene Aeusserungen einer und derselben Kraft anzusehen, und diese Ansichten durch den Weg des Experiments zu bekräftigen, der den berühmten Engländer schon auf so grossartige Entdeckungen geführt hat."

Wer war nun dieser Dr. *Otto Seyffer*, welcher sich so selbstbewusst zum Richter über die Entdeckungen *Robert Mayers* aufwarf? Geboren 1823 zu Stuttgart, hatte er seine Bearbeitung einer 1843 von der philosophischen Fakultät zu Heidelberg gestellten Preisaufgabe gekrönt und 1848 erweitert als „Geschichtliche Darstellung des Galvanismus" bei *Cotta* erscheinen sehen, auch verschiedene Aufsätze in die dem gleichen Verlage angehörende „Allgemeine Zeitung" und andre Organe bringen können. So mochte er sich und der Redaktion der „Allgemeinen Zeitung" als eine Autorität in der Kritik und Geschichte der Wissenschaft erscheinen. Nicht ganz ein Jahr nach seiner öffentlichen Abkanzelung *Robert Mayers* habilitierte sich *Seyffer* als Privatdozent für Physik in Tübingen. Von den zu diesem Zwecke am 18. April 1850 von ihm verteidigten Thesen lautete die erste:

„Die Auffindung der sogenannten Aequivalentenzahl zwischen mechanischer Kraft und Wärme anerkenne ich als eine vollendete Thatsache" [1]).

27.

Mayer war entrüstet über den nach Form und Inhalt gleich unqualifizierbaren Angriff in der „Allgemeinen Zeitung", von deren Redaktion er ein gewisses Verständnis für die grossen Tagesfragen der Wissenschaft oder doch Fühlung mit sachverständigen Kreisen erwartet hatte. Er selbst schreibt darüber in späteren Jahren:

„Da es sich in kompetenten Kreisen damals schon nicht mehr um die prinzipielle Richtigkeit der mechanischen Wärmetheorie handelte, vielmehr nur noch die Prioritätsfrage zwischen mir und *Joule* in den ‚Comptes rendus' der Pariser Akademie erörtert wurde, so musste mir jener Angriff als eine auf grober

---

[1]) Einiges weitere über den Zwischenfall mit *Seyffer* findet man in „Kleinere Schriften und Briefe" unter XII, wo auch die beiden hier besprochenen Artikel vollständig abgedruckt sind.

und unverzeihlicher Unwissenheit beruhende Unwahrheit erscheinen. Der Herr, von dem jener Angriff ausging, war aber eine bei der *Cotta*schen Buchmacherei wohl angesehene Persönlichkeit, und so waren alle meine Bemühungen, eine der Wahrheit entsprechende, die Solidität meiner Arbeiten darthuende Berichtigung in der ‚Allgemeinen Zeitung' durchzusetzen, fruchtlos."

In der That hatten sich bis zum Jahre 1849 nach *Mayer* auch *Joule, Colding, Holtzmann, Helmholtz, Séguin* u. s. w. für die Aequivalenz von Wärme und Arbeit ausgesprochen. Das konnte *Seyffer* nach seinem Angriffe nicht wohl verborgen bleiben. Als er dann den auf S. 232 erwähnten eklatanten Rückzug angetreten hatte, welcher durch eine zweite These: „Der Uebergang von einer Naturkraft in eine andre, wie er aus Anlass der Bestimmung jenes Zahlenverhältnisses aufgestellt wurde, ist eine unphysikalische Auffassung", für niemand maskiert werden konnte, wandte sich *Mayer* am 21. Mai 1850 nochmals an *Cotta:*

„Der Herr, von dem der Artikel ausgeht, hat das Naturgesetz, wegen dessen ich in der ‚Allgemeinen Zeitung' geschmäht werde, in einem gedruckten Aktenstücke als thatsächlich anerkannt. Bei den zahlreichen, von mir privatim und öffentlich erhobenen Reklamationen lässt sich voraussetzen, dass die Redaktion sich mit ihrem Gewährsmanne in Verbindung gesetzt hat und also den wahren Sachverhalt kennt. Dennoch hat diese Redaktion der von jedem rechtschaffenen Manne gerne geübten Pflicht, ein begangenes Unrecht nach Kräften wieder gut zu machen, keine Genüge gethan."

Aber auch jetzt konnte *Mayer* nicht zu der gewünschten Rechtfertigung gelangen und seine Aufzeichnungen berichten weiter: „Diesem Umstande habe ich es beizumessen, dass ich in der Frühe des 28. Mai 1850, bei dem damals herrschenden heissen Frühlingswetter in steigende Aufregung geratend, nach schlaflos hingebrachter Nacht in einem Anfalle plötzlich ausgebrochenen Deliriums noch unangekleidet zwei Stockwerke (9 Meter) hoch vor den Augen meiner kurz vorher erwachten Frau, welche sich der Sache nicht versehen konnte, durch das Fenster auf die Strasse sprang."

Die nächste Folge war ein mit Lebensgefahr verbundenes, äusserst schmerzhaftes Krankenlager von vielen Wochen, worauf *Mayer* Heilung in Wildbad suchte. Nach einigen Monaten konnte er wieder an einem Stocke über die Strasse gehen und seine

ärztliche Praxis aufnehmen, aber der an ausdauernde Bewegung in freier Natur gewöhnte Mann behielt noch jahrelang einen schleppenden Gang, wobei er das rechte Bein nachziehen musste. Vollständig ist die Nachwirkung niemals verschwunden.

Im September 1850 starb *Mayers* achtzigjähriger Vater, für welchen er bis zum Ende eine seltene Liebe und Verehrung empfunden hatte. *Mayers* Mutter war schon 1844 gestorben.

In geistiger Hinsicht trat auf diese Stürme zunächst eine gewisse Beruhigung ein, und noch im gleichen Jahre, 1850, schrieb er seine ansprechenden „Bemerkungen über das mechanische Aequivalent der Wärme“, in welchen die Grundlagen seiner Lehren, seine Ansichten über Aufgabe und Methode der Naturwissenschaft wie speziell auch über die Anwendung des Wortes „Kraft“ in einfacher, klarer Weise ohne jede Bitterkeit zum Ausdrucke gebracht sind. Die Schrift erschien Anfangs 1851 als Broschüre im selben Verlage wie die unmittelbar vorausgegangenen „Beiträge zur Dynamik des Himmels“.

IV.

Bemerkungen über das mechanische Aequivalent der Wärme.

(Heilbronn, Verlag von *Johann Ulrich Landherr*, 1851.)

Vorwort.

Durch die Auffindung des zwischen der Wärme und der Bewegung bestehenden Zusammenhanges gewinnt die Lehre von den Imponderabilien, welche bisher an zahlreichen Verwickelungen und Unklarheiten gelitten hat, eine einfachere Gestaltung, und es wird deshalb auch vorliegende populäre Abhandlung den Freunden einer exakten Naturanschauung willkommen sein.

Warum ich mir bei meiner Stellung als praktischer Arzt in dieser wichtigen Sache mitzureden erlaubt habe, davon ist der Grund in der Schrift selbst angegeben. —

Mögen Sachverständige, welche die Schwierigkeiten kennen, mit denen man beim Bebauen eines neuen Feldes zu kämpfen hat, den Mängeln meiner Arbeiten eine nachsichtige Beurteilung angedeihen lassen! Ars longa, vita brevis. —

Heilbronn, im Christmonat 1850.

Der Verfasser.

Das grossartige und weitläufige Gebäude der Erfahrungswissenschaften ist auf einer kleinen Anzahl von Pfeilern errichtet.

Wie die Geschichte lehrt, so hat es Jahrtausende bedurft, bis es dem suchenden Geiste des Menschen gelungen ist, die Grundlagen der Wissenschaften zu finden, auf denen dann in verhältnissmässig kurzer Zeit der Hochbau aufgeführt wurde.

Und doch sind eben diese Fundamentalsätze von solch einfacher Klarheit, dass ihre Entdeckung in mehr als einer Beziehung an das Ei des Kolumbus erinnert.

Wenn wir aber jetzt, wo wir einmal im Besitze der Wahrheit sind, von einer Methode sprechen wollen, durch deren Anwendung die nötigsten Grundgesetze ohne Zeitverlust hätten aufgefunden werden können, so soll damit keineswegs an die Bestrebungen und Leistungen unserer Vorfahren der Massstab einer leichten Kritik angelegt werden, sondern es wird damit nur beabsichtigt, einen der neuesten Zeit angehörigen Zuwachs unseres Wissens dem Leser auf heuristische Weise vorzuführen.

Die wichtigste, um nicht zu sagen einzige Regel für die ächte Naturforschung ist die: eingedenk zu bleiben, dass es unsere Aufgabe ist, die Erscheinungen kennen zu lernen, bevor wir nach Erklärungen suchen oder nach höheren Ursachen fragen mögen. Ist einmal eine Thatsaehe nach allen ihren Seiten hin bekannt, so ist sie eben damit erklärt und die Aufgabe der Wissenschaft ist beendigt.

Mag auch dieser Ausspruch von einigen für trivial erklärt, von anderen mit noch so vielen Gründen bekämpft werden, so bleibt doch gewiss, dass diese Grundregel bis auf die neueste Zeit herab nur allzuoft vernachlässigt wird, dass aber alle spekulativen Operationen selbst der glänzendsten geistigen Kapazitäten, die, statt von den Thatsachen als solchen Besitz zu ergreifen, sich über dieselben erheben wollten, bis jetzt nur taube Früchte getragen haben.

Von der neueren Naturphilosophie, die durch die ephemere Existenz ihrer Geburten das Urteil schon in der

Gegenwart empfangen hat, soll hier nicht weiter die Rede sein. Im Altertume hat selbst der grösste und verdienstvollste Naturforscher, um z. B. die Eigenschaften des Hebels zu erklären, seine Zuflucht zu dem Ausspruche genommen: der Kreis sei ein so wunderbares Ding, dass es wohl zu begreifen sei, wie die im Kreise erfolgenden Bewegungen auch ihrerseits die wundervollsten Erscheinungen darbieten! Hätte *Aristoteles*, statt sein ausserordentliches Talent zu Meditationen über den feststehenden Punkt und die fortschreitende Linie — wie er den Kreis nennt — anzustrengen, die Zahlenverhältnisse untersucht, welche zwischen der Länge der Hebelarme und dem ausgeübten Drucke stattfinden, so hätte er dadurch den Grundstein zu einem wichtigen Teile des menschlichen Wissens gelegt.

Solche Missgriffe, wie sie dem Geiste der damaligen Zeit gemäss auch von einem Manne begangen wurden, der sich durch viele wirkliche Verdienste ein ewiges Denkmal gesetzt hat, können uns den entgegengesetzten Weg, der sicher zum Ziele führt, zeigen. Wenn aber auch bei der richtigsten Forschungsmethode ohne Mühe und Fleiss dennoch nichts erreicht werden kann, so ist dies in der göttlichen Weltordnung begründet, nach welcher der Mensch zum Arbeiten erschaffen ist. Gewiss aber ist schon unendlich mehr Material und mehr Mühe dem Irrtume zum Opfer gebracht worden, als die Wahrheit zu ihrer Auffindung bedarf.

Die Regel, nach welcher verfahren werden musste, um die Fundamente der Naturkunde in der denkbar kürzesten Zeit zu legen, lässt sich in wenige Worte fassen. Es müssen nämlich die nächstliegenden und häufigsten Naturerscheinungen mittelst der Sinnwerkzeuge einer sorgfältigen Untersuchung unterworfen werden, die so lange fortzuführen ist, bis aus ihr Grössenbestimmungen, die sich durch Zahlen ausdrücken lassen, hervorgegangen sind.

Diese Zahlen sind die gesuchten Fundamente einer exakten Naturforschung.

Unter allen Naturprozessen ist der freie Fall eines

Gewichtes der häufigste, der einfachste und — man denke an *Newtons* Apfel! — zugleich der wichtigste. Wenn man diesen Vorgang auf die angegebene Weise analysiert, so wird man alsbald gewahr, dass das Gewicht um so stärker auf den Boden aufschlägt, je höher es herabgefallen ist, und die Aufgabe besteht nun darin, die zwischen der Fallhöhe, der Fallzeit und der Endgeschwindigkeit stattfindenden Grössenbeziehungen aufzufinden und in bestimmten Zahlen auszudrücken.

Bei Ausführung der Experimentaluntersuchung wird man mit verschiedenen Schwierigkeiten zu kämpfen haben; allein diese müssen und können überwunden werden, und dann gelangt man zu der Wahrheit, dass bei jedem Körper eine Fallhöhe von beiläufig 15 Fuss, oder eine Fallzeit von einer Sekunde einer Endgeschwindigkeit von 30 Fuss per Sekunde entspricht.

Eine zweite, den Fallgesetzen scheinbar zuwiderlaufende, alltägliche Erscheinung ist das Aufsteigen von Flüssigkeiten in Röhren beim Saugen. Auch hier gilt es wieder, sich nicht durch das *velle rerum cognoscere causas* zu nutzlosen und also schädlichen Spekulationen über die Qualitäten des Vacuums u. dgl. in die Irre führen zu lassen, vielmehr müssen wir abermals die Erscheinung als solche mit Aufmerksamkeit und offenen Sinnen untersuchen, und finden dann, sobald wir nur eine Röhre an den Mund setzen, um eine Flüssigkeit zu heben, dass diese Operation von Anfang ganz leicht, dann aber bei grösserer Höhe der Flüssigkeitssäule mit rasch zunehmender Schwierigkeit auszuführen ist. Sollte etwa die Saugwirkung eine messbare Grenze haben? — Sobald wir einmal anfangen, in dieser Richtung zu experimentieren, so kann es uns nicht mehr entgehen, dass es eine Barometerhöhe gibt, und dass diese circa 28 Zoll beträgt. Diese Zahl ist ein zweiter Hauptpfeiler im Gebäude des menschlichen Wissens.

Nun reiht sich Frage an Frage, und Antwort an Antwort. Wir haben gelernt, dass der von einer Flüssigkeitssäule ausgeübte Druck proportional ist der Säulenhöhe und

dem spezifischen Gewichte der Flüssigkeit; hiernach haben wir das spezifische Gewicht der Atmosphäre bestimmt und sind durch diese Untersuchung veranlasst worden, unser Messwerkzeug, das Barometer, von der Ebene auf die Erde zu tragen, und den Einfluss, den die Erhebung über den Meeresspiegel auf den Stand der Quecksilbersäule ausübt, in Zahlen auszudrücken. Durch solche Arbeiten wird uns die Frage nahe gelegt, ob nicht auch die Gesetze des freien Falles, die wir an der Erdoberfläche kennen gelernt haben, in grösseren Entfernungen vom Boden eine Abänderung erleiden? Und wenn, was wir von vornherein nicht anders erwarten können, dieses wirklich der Fall ist, so fragt es sich weiter, in welcher Weise die oben gefundenen Zahlen durch die Entfernung von der Erde modifiziert werden.

Hier sind wir bei einer Aufgabe angelangt, deren Auflösung mit grossen Schwierigkeiten verknüpft ist. Denn es gilt jetzt, an Orten, die kein menschlicher Fuss zu betreten vermag, Beobachtungen anzustellen und Messungen vorzunehmen. Die Geschichte lehrt aber, dass derselbe Mann, der die Frage gestellt hat, auch imstande gewesen ist, die Antwort zu geben. Freilich konnte er dazu nur durch einen reichen Schatz astronomischer Kenntnisse befähigt werden. Wie aber sollen wir diese erlangen?

Die Astronomie ist ohne Frage schon in ihren Anfangsgründen die schwierigste aller Wissenschaften. Wir haben es hier mit Gegenständen und Räumen zu thun, die jeden Gedanken an ein Experiment verbieten, und dabei sind die verschiedenartigen Bewegungen der zahllosen Himmelskörper so verwickelter Natur, dass die Sternkunde in ihrer herrlichen Entfaltung als der höchste Triumph, den der menschliche Geist hienieden zu feiern vermochte, mit Recht betrachtet wird.

Der natürlichen Regel gemäss, dass der Mensch, wie im einzelnen, so auch im ganzen, mit dem Leichteren beginnend stufenweise zum Schwereren fortzuschreiten hat, sollte man wohl erwarten, dass die Astronomie später als alle anderen Zweige des menschlichen Wissens eine gedeih-

liche Entwickelung gefunden habe. Bekanntlich verhält sich aber die Sache in der Wirklichkeit umgekehrt, indem gerade in der Astronomie, und nur in dieser, schon die frühesten Völker sich wirklich gute Kenntnisse erworben haben. Ja es darf wohl behauptet werden, dass die Sternkunde diejenige Stufe der Vollkommenheit im Altertume erreicht hat, die bei dem damaligen Fehlen aller Hilfswissenschaften allein zu erreichen war.

Diese früheintretende, lebenskräftige Entwickelung der Astronomie, die ihrerseits wieder den anderen Wissenschaften vorangehen musste, da sie allein das zu Zeitmessungen notwendige Material zu liefern vermochte, nehmen wir bei den verschiedenen Völkerstämmen wahr, und es ist dieselbe auch im Wesen der Dinge und in der Natur des menschlichen Geistes begründet. Sie liefert einen merkwürdigen Beleg dafür, dass eine richtige Methodik Hauptbedinguug ist für eine gedeihliche wissenschaftliche Forschung.

Der Grund der Erscheinung liegt aber darin, dass das schon sehr frühe empfundene Bedürfnis einer bürgerlichen Zeitrechnung zur Anstellung solcher Beobachtungen nötigen musste, deren Resultate in bestimmten Zahlen ihren Ausdruck finden. Das Bedürfnis war vorhanden, die Zeit, in welcher die Sonne ihre Wanderung durch den Fixsternhimmel vollbringt, sowie die Zeit, in welcher der Mond seine Phasen durchläuft u. s. w., zu bestimmen. Um diesen Bedürfnissen zu entsprechen, war man nicht der Versuchung ausgesetzt, nach Art der Exegeten und Rezensenten das Buch der Natur in die Hand zu nehmen, nur um es zu glossieren.

„Mit eitler Rede wird hier nichts geschafft.“

Zahlen waren es, die man suchte, und Zahlen, die man fand. Durch die überwältigende Macht der Umstände wurde der forschende Geist in die rechte Bahn gedrängt und auf dieser sofort von Erfolg zu Erfolg geführt.

Nachdem nun durch lange fortgesetzte, gute und glückliche Beobachtungen die nötigen Erkenntnisse über den

Lauf und die Entfernung der nächsten Himmelskörper, sowie über die Gestalt und Grösse der Erde erworben worden sind, so sind wir in den Stand gesetzt, die Frage, welchen numerischen Einfluss eine zunehmende Entfernung von der Erde auf die bekannten Fallgesetze ausübt, zu behandeln, und so gelangen wir zu der folgewichtigen Entdeckung, dass in der Höhe von einem Erdhalbmesser der Fallraum und die Endgeschwindigkeit für die erste Sekunde viermal kleiner ist, als am Erdboden.

Kehren wir behufs der Fortsetzung unsrer Untersuchungen zu unsrer unmittelbaren Umgebung zurück. — Von jeher mussten die Verbrennungserscheinungen die Aufmerksamkeit der Menschen in besonderem Grade in Anspruch nehmen. Um sie zu erklären, stellten die Alten ihrer naturphilosophischen Methode gemäss ein besonderes, nach oben strebendes Feuerelement auf, das im Bunde mit — und im Gegensatze zu der Luft, dem Wasser und der Erde alles Vorhandene konstituieren sollte. Die notwendige Folge dieser von ihnen mit dem grössten Scharfsinne behandelten Theorie war, dass sie über die betreffenden Erscheinungen und über alles, was damit zusammenhängt — in vollkommener Unwissenheit geblieben sind.

Auch hier sind es Grössenbestimmungen, Zahlen allein sind es, die uns den Ariadnefaden in die Hand geben. Wollen wir erfahren, was bei den Feuererscheinungen vorgeht, so müssen wir die Stoffe vor und nach ihrer Verbrennung wägen, wobei uns die Kenntnisse zu statten kommen, die wir uns oben von dem Gewichte luftförmiger Körper erworben haben. Wir finden dann, dass bei jeder Verbrennung verschiedenartige, zuvor getrennt bestehende Stoffe nach bestimmten Gewichtsverhältnissen in eine innige Verbindung miteinander treten und dass das Gesamtgewicht der Stoffe vor und nach der Vereinigung gleich geblieben ist. Wir lernen die Stoffe in ihren getrennten und in ihren verbundenen Zuständen kennen, wir lernen sie von einem dieser Zustände in den andern überführen und erfahren, dass z. B. das Wasser aus zwei Luftarten zusammengesetzt

ist, die sich nach den Verhältniszahlen = 1 : 8 miteinander verbinden. Dadurch ist uns der Eingang in die Scheidekunst erschlossen, und die Stöchiometrie hängt als eine reife Frucht vor uns.

Im weiteren Verlaufe unsrer Untersuchung haben wir gelernt, dass bei allen chemischen Prozessen — Verbindungen sowohl, als Trennungen — Temperaturveränderungen stattfinden, welche je nach den verschiedenen Umständen von der heftigsten Hitze abwärts alle Grade durchlaufen. Wir haben die entwickelte Wärme ihrer Quantität nach bestimmt oder nach Wärmeeinheiten gezählt und sind so in den Besitz des Gesetzes der chemischen Wärmeentwickelung gelangt. Wir wissen aber längst, dass in einer Unzahl von Fällen Wärme auftritt, wo kein chemischer Prozess stattfindet; so namentlich bei jeder Reibung, beim unelastischen Stosse und beim Zusammendrücken luftförmiger Körper.

Was geht nun bei dieser Art von Wärmeentwickelung vor?

Die Geschichte lehrt, dass auch hier die scharfsinnigsten Hypothesen von dem Bestande und der Natur eines besonderen „Wärmestoffes“, von einem bald ruhenden, bald schwingenden „Wärmeäther“, von „Wärmeatomen“, die in den zwischen den Massenatomen befindlichen Räumen ihre Rollen spielen sollten, u. s. w., die Aufgabe nicht zu lösen vermocht haben. Und doch ist dieselbe ihrer Natur nach ebenso wunderbar einfach, als die Gesetze des Hebels, über welche sich der Stifter der peripatetischen Philosophie den Kopf vergebens zerbrochen hat.

Nach dem Vorangegangenen kann der Leser nicht im Zweifel darüber sein, was hier zu geschehen hat. Es müssen wieder Grössenbestimmungen vorgenommen, es muss gemessen und gezählt werden.

Wenn wir in dieser Richtung vorgehen und die auf mechanischem Wege entwickelte Wärmemenge, sowie die dazu verbrauchte Arbeitskraft messen, und diese Grössen miteinander vergleichen, so finden wir sofort, dass dieselben in der denkbar einfachsten Beziehung, d. h. in einem unver-

änderlichen, geraden Verhältnisse zu einander stehen, und dass das nämliche Verhältnis auch statt hat, wenn umgekehrt mit Hilfe der Wärme wieder Arbeitskraft erzeugt wird.

Diese Thatsachen in kurze, klare Worte gefasst, sagen wir: Wärme und Bewegung verwandeln sich ineinander.

Wir können und dürfen aber hier noch nicht stehen bleiben. Wir müssen wissen, wie viel Arbeitskraft zur Hervorbringung eines vorgeschriebenen Masses von Wärme erforderlich ist, und umgekehrt. Mit andern Worten: das Gesetz der unveränderlichen Grössenbeziehung zwischen der Bewegung und der Wärme muss auch numerisch ausgedrückt werden.

Indem wir die Erfahrung hierüber befragen, finden wir, dass die Erwärmung von einem Gewichtsteile Wasser um einen Grad der hundertteiligen Skale der Erhebung von einem gleichen Gewichtsteile auf ungefähr 1200 Fuss Höhe 2
entspricht.

Diese Zahl ist das mechanische Aequivalent der Wärme.

Die Erzeugung der Wärme durch die Reibung und durch andre mechanische Prozesse ist eine fundamentale Thatsache von so universaler Verbreitung, dass ihre wissenschaftliche Feststellung auch ohne eine vorausgeschickte Aufzählung von Nutzanwendungen dem Naturkundigen als wertvoll erscheinen wird, und es werden daher auch einige geschichtliche Bemerkungen über das Thatsächliche der Auffindung des vorliegenden Grundgesetzes hier wohl am Platze sein.

Im Sommer 1840 machte ich bei Aderlässen, die ich 3
auf Java an neuangekommenen Europäern vornahm, die Beobachtung, dass das aus der Armvene genommene Blut fast ohne Ausnahme eine überraschend hellrote Färbung zeigte.

Diese Erscheinung fesselte meine volle Aufmerksamkeit. Von der Theorie *Lavoisiers* ausgehend, nach welcher die animalische Wärme das Resultat eines Verbrennungsprozesses ist, betrachtete ich die doppelte Farbenveränderung, welche das Blut in den Haargefässen des kleinen und grossen Kreislaufes erleidet, als ein sinnlich wahrnehmbares Zeichen, als den sichtbaren Reflex einer mit dem Blute vor sich gehenden Oxydation. Zur Erhaltung einer gleichförmigen Temperatur des menschlichen Körpers muss die Wärmeentwickelung in demselben mit seinem Wärmeverluste, also auch mit der Temperatur des umgebenden Mediums notwendig in einer Grössenbeziehung stehen*) und es muss daher sowohl die Wärmeproduktion und der Oxydationsprozess, als auch der Farbenunterschied beider Blutarten im ganzen in der heissen Zone geringer sein, als in kälteren Gegenden.

Dieser Theorie gemäss und unter Berücksichtigung der hierher gehörigen, bekannten physiologischen Thatsachen hat man das Blut als eine langsam brennende, gärende Flüssigkeit zu betrachten, deren Hauptzweck — die Unterhaltung eines Verbrennungsprozesses — erreicht wird, ohne dass die Blutbestandteile als solche (d. h. mit Ausnahme der Zersetzungsprodukte) die Gefässhöhle verlassen und mit den Organen in eine materielle Wechselbeziehung, einen Stoffaustausch, treten. Mit andern Worten heisst dies: die assimilierten Speisen werden ihrem bei weitem grösseren Teile nach zur Erzielung eines physikalischen Effektes in der Gefässhöhle selbst verbrannt, und nur eine vergleichungsweise geringe Quantität derselben dient dem minderwichtigen Zwecke, mittelbar in die Substanz der Organe selbst einzugehen und das Wachstum und den Wiederersatz abgenützter Festteile zu bewirken.

Wenn nun hieraus folgt, dass überhaupt im Organismus zwischen Einnahme und Ausgabe, oder zwischen

---

*) Man vergleiche hierüber auch die interessante Schrift von *Bergmann* „Ueber die Verhältnisse der Wärmeökonomie der Tiere zu ihrer Grösse". Göttingen 1848.

Leistung und Verbrauch eine Bilanz zu ziehen ist, so ist es unverkennbar eine Hauptaufgabe für den Physiologen, das Budget seines Untersuchungsobjektes so genau als immer möglich kennen zu lernen. Der Verbrauch besteht in dem verbrannten Material, die Leistung ist die Wärmeentwickelung. Diese letztere geht aber auf zweierlei Weise vor sich, indem der Tierkörper teils Wärme direkt in seinem Inneren entwickelt und durch Mitteilung an seine unmittelbare Umgebung wieder absetzt, teils aber auch vermöge seiner Bewegungsapparate die Fähigkeit besitzt, Wärme auf mechanischem Wege, durch Reibung u. dgl., selbst an entfernten Orten, zu erzeugen. Nun ist zu wissen nötig:

Ob die direkt entwickelte Wärme allein, oder ob die Summe der auf direktem und indirektem Wege entwickelten Wärmemengen auf Rechnung des Verbrennungsprozesses zu bringen ist?

Es ist dies eine in das Fundament der Wissenschaft eingreifende Frage, ohne deren sichere Lösung eine gesunde Entwickelung der betreffenden Doktrin unmöglich ist. Denn was es heisst, prinzipielle Grössenbestimmungen zu vernachlässigen, dies wurde oben schon an verschiedenen Beispielen gezeigt. Kein Menschenwitz ist im stande, für das, was die Natur bietet, Ersatz zu geben.

Die physiologische Verbrennungstheorie geht von dem Fundamentalsatze aus, dass die Wärmemenge, welche bei der Verbrennung einer gegebenen Materie entsteht, eine unveränderliche, d. h. eine von den die Verbrennung begleitenden Umständen unabhängige Grösse ist, woraus *in specie* gefolgert wird, dass der chemische Effekt der Brennstoffe auch durch den Lebensprozess keine Grössenveränderung erleidet, oder dass der lebendige Organismus mit all seinen Rätseln und Wundern nicht Wärme aus Nichts zu erzeugen vermag.

Hält man aber dieses physiologische Axiom fest, so ist damit bereits auch die Antwort auf die gestellte Frage gegeben. Denn wenn man nicht dem Organismus die Fähigkeit der Wärmeerschaffung, die ihm soeben abgesprochen

worden, gleich wieder zuteilen will, so kann auch nicht angenommen werden, dass die Summe der von ihm produzierten Wärme jemals grösser als der stattfindende chemische Effekt ausfallen könne. Es bleibt also der Verbrennungstheorie, wenn sie sich nicht von vornherein selbst aufgeben will, nichts übrig, als anzunehmen: dass die gesamte teils unmittelbar, teils auf mechanischem Wege vom Organismus entwickelte Wärme dem Verbrennungseffekte quantitativ entspricht oder gleich ist.

Daraus folgt nun aber mit derselben Notwendigkeit, dass die vom lebenden Körper erzeugte mechanische Wärme mit der dazu verbrauchten Arbeit in einem unveränderlichen Grössenverhältnisse stehen muss. Denn wenn, je nach der verschiedenen Konstruktion der zur Wärmegewinnung dienenden mechanischen Vorrichtungen u. dgl., durch die nämliche Arbeit und bei gleichbleibendem organischem Verbrennungsprozesse verschieden grosse Wärmemengen erzielt werden könnten, so würde ja die produzierte Wärme bei einem und demselben Materialverbrauche bald kleiner bald grösser ausfallen können, was gegen die Annahme ist. Da aber ferner zwischen der mechanischen Leistung des Tierkörpers und zwischen andern, anorganischen Arbeitsarten kein qualitativer Unterschied besteht,

so ist folglich eine unveränderliche Grössenbeziehung zwischen der Wärme und der Arbeit ein Postulat der physiologischen Verbrennungstheorie.

Indem ich im allgemeinen die angegebene Richtung einhielt, musste ich also notwendig mein Hauptaugenmerk zuletzt auf den zwischen der Bewegung und der Wärme bestehenden physikalischen Zusammenhang richten, wo mir denn die Existenz des mechanischen Aequivalentes der Wärme nicht verborgen bleiben konnte. Wenn ich aber auch diese Entdeckung nur einem Zufalle verdanke, so ist sie doch mein Eigentum, und ich stehe nicht an, das Recht des Zuerstkommenden zu behaupten.

Um das Entdeckte gegen Eventualitäten sicher zu stellen,

fasste ich das Wesentlichste in einem kurzen Aufsatze zu- 5
sammen, den ich im Frühjahre 1842 an *Liebig* mit der Bitte um Aufnahme in die Annalen der Chemie und Pharmacie sendete, woselbst man ihn auch im XLII. Bande S. 233 unter dem Titel „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“ findet.

Es war ein günstiger Umstand für mich, dass durch die wohlwollende Aufnahme jenes mit so tiefer Einsicht begabten Mannes die unscheinbare Arbeit gleich den Eingang in eines der ersten wissenschaftlichen Organe gefunden hat, und ich ergreife die Gelegenheit, dem grossen Naturforscher meinen Dank und meine Verehrung hiermit öffentlich zu bezeugen.

Liebig hatte aber auch selbst schon um diese Zeit, wenn gleich in mehr allgemeinen, so doch in ganz unzweideutigen Ausdrücken auf den zwischen der Wärme und der Bewegung bestehenden Zusammenhang hingewiesen. Namentlich spricht derselbe aus: die von einer Dampfmaschine gelieferte mechanische Wärme sei lediglich auf Rechnung des Verbrennungseffektes zu setzen, und es könne dieser letztere dadurch, dass mittelst desselben eine mechanische Leistung und durch diese wieder Wärme gewonnen werde, keine Vergrösserung erfahren! 6

Aus diesen wie auch aus ähnlichen Aeusserungen andrer Naturforscher mag man entnehmen, dass die Wissenschaft in neuester Zeit eine Richtung einzuschlagen angefangen hatte, bei welcher jedenfalls die Existenz des mechanischen Aequivalents der Wärme nicht länger mehr verborgen bleiben 7
konnte.

In dem erwähnten Aufsatze ist das hierher gehörige Naturgesetz auf einige Grundvorstellungen des menschlichen Geistes zurückgeführt worden. Der Satz, dass eine Grösse, die nicht aus Nichts entsteht, auch nicht vernichtet werden kann, ist so einfach und klar, dass gegen seine Richtigkeit wohl so wenig als gegen ein Axiom der Geometrie etwas Begründetes wird eingewendet werden können, und dürfen wir ihn so lange als wahr annehmen, als nicht etwa durch

eine unzweifelhaft festgestellte Thatsache das Gegenteil erwiesen ist.

Es ist nun ein Erfahrungssatz, dass sowohl die Bewegung als die Wärme nur unter dem Aufwande eines messbaren Objektes entsteht, und dass in unzähligen Fällen Bewegung verschwindet, ohne dass dabei etwas anderes als Wärme zum Vorschein kommt. Das aufgestellte Axiom fordert also jetzt, dass die verschwindende Bewegung zu Wärme wird, oder dass mit andern Worten diese beiden Objekte in einer unveränderlichen Grössenbeziehung zu einander stehen. Die Prüfung dieses Satzes auf dem Erfahrungswege, die Feststellung desselben in allen Einzelfällen, der Nachweis einer zwischen den Denkgesetzen und der objektiven Welt bestehenden vollkommenen Harmonie, ist die interessanteste, aber auch die umfassendste Aufgabe, die sich finden lässt. Was ich mit schwachen Kräften und ohne jegliche Unterstützung und Ermunterung von aussen in dieser Beziehung geleistet, ist freilich wenig, aber — *ultra posse nemo obligatus.*

Ueber den genetischen Zusammenhang der Wärme und der bewegenden Kraft habe ich mich a. a. O. S. 27 so ausgesprochen: „Ist es nun ausgemacht, dass für die verschwindende Bewegung in vielen Fällen *(exceptio confirmat regulam)* keine andre Wirkung gefunden werden kann, als die Wärme, für die entstandene Wärme keine andre Ursache, als die Bewegung, so ziehen wir die Annahme, Wärme entsteht aus Bewegung, der Annahme einer Ursache ohne Wirkung und einer Wirkung ohne Ursache vor, wie der Chemiker statt Wasserstoff und Sauerstoff ohne Nachfrage verschwinden, und Wasser auf unerklärte Weise entstehen zu lassen, einen Zusammenhang zwischen Wasserstoff und Sauerstoff einer- und Wasser andrerseits statuiert.“

Von hier bis zum Ziele hat man nur noch einen Schritt zu thun. S. 29 heisst es: „Zur Auflösung der zwischen der Fallkraft (d. i. Gewichtserhebung) und Bewegung statthabenden Gleichungen musste der Fallraum für eine bestimmte Zeit, z. B. für die erste Sekunde, durch das Ex-

periment bestimmt werden; gleichermassen ist zur Auflösung der zwischen der Fallkraft und Bewegung einer- und der Wärme andrerseits bestehenden Gleichungen die Frage zu beantworten, wie gross das einer bestimmten Menge von Fallkraft oder Bewegung entsprechende Wärmequantum sei. Zum Beispiel wir müssen ausfindig machen, wie hoch ein bestimmtes Gewicht über den Erdboden erhoben werden müsse, dass seine Fallkraft äquivalent sei der Erwärmung eines gleichen Gewichtes Wasser von 0^0 auf 1^0 C.? Dass eine solche Gleichung wirklich in der Natur begründet sei, kann als das *Resumé* des Bisherigen betrachtet werden."

„Unter Anwendung der aufgestellten Sätze auf die Wärme- und Volumensverhältnisse der Gasarten findet man die Senkung einer ein Gas komprimierenden Quecksilbersäule gleich der durch die Kompression entbundenen Wärmemenge, und es ergibt sich hieraus — den Verhältnisexponenten der Kapazitäten der atmosphärischen Luft unter gleichem Drucke und unter gleichem Volumen = 1,421 gesetzt — dass dem Herabsinken eines Gewichtsteiles von einer Höhe von circa 365 Meter die Erwärmung eines gleichen Gewichtsteiles Wasser von 0^0 auf 1^0 entspreche."

Es ist klar, dass der Ausdruck „äquivalent" hier in ganz andrer Bedeutung als in der Chemie gebraucht ist. Ein Beispiel wird den Unterschied am deutlichsten machen. Wenn eine gleiche Gewichtsmenge Kali das eine Mal mit Schwefelsäure, das andre Mal mit Salpetersäure neutralisiert wird, so nennt man die Zahlen, welche das Verhältnis ausdrücken, in welchem die absoluten Gewichte dieser drei Stoffe zu einander stehen, die Aequivalente dieser letzteren, wobei aber weder an eine quantitative Gleichheit noch an eine Umwandlung der respektiven Stoffe zu denken ist.

Diese besondere Bedeutung, welche das Wort „Aequivalent" in der Chemie hat, hängt wohl damit zusammen, dass es dem Chemiker vergönnt ist, seine Untersuchungsobjekte nach einem gemeinschaftlichen Masse, dem absoluten Gewichte quantitativ zu bestimmen. Wir wollen aber annehmen, wir könnten die e i n e Substanz, z. B. das Wasser,

nur nach dem Gewichte, eine andre, das wasserbildende oder Knallgas nur nach dem Volumen messen, und wir hätten uns dahin verständigt, als Gewichtseinheit 1 Pfund, als Volumenseinheit 1 Kubikfuss zu wählen, so würden wir nun zu untersuchen haben, wie viel Kubikfusse Knallgas aus einem Pfunde Wasser erhalten werden, und umgekehrt, und diese Zahl, ohne welche sich weder eine Wasserbildung noch eine Wasserzersetzung berechnen liesse, würden wir passend „das Knallgasäquivalent des Wassers“ nennen können.

In diesem letzteren Sinne kann den bekannten Gesetzen der Mechanik gemäss eine gehobene Last das „Aequivalent“ von der Bewegungsgrösse, welche durch das Herabfallen erzielt wird, genannt werden. Um nun diese beiden Objekte, die gehobene und die bewegte Last, welche keine gemeinschaftliche Massbestimmung gestatten, aufeinander zu reduzieren, dazu ist jene konstante Zahl nötig, die man allgemein mit g bezeichnet; mit dieser Zahl ist aber das mechanische Aequivalent der Wärme, durch welches das zwischen der Wärme und der Bewegung bestehende Verhältnis bestimmt wird, in eine und dieselbe Begriffskategorie zu bringen.

Es ist ferner in der erwähnten Abhandlung der Weg zur Gewinnung eines folgerichtig durchzuführenden und wissenschaftlich haftbaren Begriffes von Kraft angegeben worden, und die Wichtigkeit dieses Gegenstandes veranlasst mich, hier noch einmal auf denselben zurückzukommen.

Das Wort „Kraft“ wird in der wissenschaftlichen oder höheren Mechanik in zwei verschiedenen Bedeutungen gebraucht.

I. Man versteht darunter jeden Druck oder Zug, jedes Bestreben eines trägen Körpers, seinen Zustand der Ruhe oder der Bewegung zu ändern, und wird dieses Bestreben für sich und unabhängig vom Erfolge betrachtet, „Druckkraft“, „Zugkraft“, „Kraft“ kurzweg, auch zur Unterscheidung von dem folgenden Begriffe „tote Kraft“ genannt.

II. In einem andern Sinne heisst „Kraft“ das Produkt des Druckes in den Wirkungsraum, oder auch das — ganze oder halbe — Produkt der Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit. Es ist nämlich zur Entstehung jeder wirklichen Bewegung notwendig, dass die respektive Masse unter einem Drucke und in der Richtung eines solchen einen gewissen Raum, „den Wirkungsraum“, durchläuft, und es wird nun die der „Druckkraft“ und dem Wirkungsraume proportionale Grösse ebenfalls „Kraft“, aber zur Unterscheidung von der blossen „Druckkraft“, die für sich allein nie eine wirkliche Bewegung zu stande bringt, „lebendige Kraft der Bewegung“ oder „bewegende Kraft“ genannt.

Mit dem Gattungsbegriffe „Kraft“ beschäftigt sich die höhere Mechanik, als eine wesentlich analytische Wissenschaft, nicht. Um denselben zu finden, müssen nach der allgemeinen Regel die den Arten gemeinschaftlich zukommenden Merkmale zusammengefasst werden. Die Definition, die man auf diese Weise erhält, lautet nun bekanntlich so: „Kraft ist:

„Alles, was eine Bewegung hervorbringt oder hervorzubringen strebt, abändert oder abzuändern strebt.“

Diese Definition ist aber, wie man leicht sieht, eine schwülstige, indem die letzten elf Wörter derselben gestrichen werden können, ohne dass dadurch der Sinn ein andrer wird.

Dieser Fehler in der Auflösung ist durch die Natur der Aufgabe bedingt, die etwas Unmögliches verlangt. Der blosse Druck (tote Kraft) und das Produkt des Druckes in den Wirkungsraum (lebendige Kraft) sind allzu ungleichartige Grössen, um in einen Gattungsbegriff vereinigt werden zu können. Der Druck oder die Anziehung ist in der Bewegungslehre, was die Affinität in der Chemie — ein Abstraktum; die lebendige Kraft ist, wie die Materie, ein Konkretum, und diese beiden Arten der „Kraft“, so nahe sie im Reiche der Ideenassociation beisammen liegen, sind in der Wirklichkeit so weit voneinander entfernt, dass der

Rahmen, der sie umfasst, die ganze Welt aufzunehmen im stande wäre.

Eine Abhilfe ist auf mehrfache Weise denkbar. Wie man z. B. von einem absoluten, einem specifischen, einem Mischungsgewichte spricht, ohne dass es darum jemanden einfällt, aus diesen verschiedenen Begriffen einen Gattungsbegriff bilden zu wollen, ebenso kann auch das Wort „Kraft“ geradezu als ein zwei- und mehrdeutiges gebraucht werden. Es geschieht dies auch wirklich in der höheren Mechanik und ist daher in dieser Wissenschaft von einem Gattungsbegriffe „Kraft“ nicht die Rede.

An Vorschlägen, die Begriffe der „toten“ und der „lebendigen Kraft“ auf solche Art auch durch die übrige Naturlehre getrennt durchzuführen, hat es nicht gefehlt; allein es haben sich dieselben als unausführbar erwiesen. Denn wenn doppelsinnige Ausdrücke überhaupt nie etwas zur Deutlichkeit beitragen können, so ist ihr Gebrauch da, wo eine Verwechselung möglich ist, durchaus unstatthaft. Nun läuft freilich der Mathematiker nicht Gefahr, in seinen Rechnungen das Produkt mit einem seiner Faktoren zu verwechseln; allein in andern Gebieten des Wissens findet in dieser Beziehung eine systematische Begriffsverwirrung statt, und es muss, wenn geholfen werden soll, die Quelle des Irrtums verstopft werden; denn ist das Wort „Kraft“ einmal in doppelsinniger Bedeutung zugelassen, so ist es eine Sisyphusarbeit, die Unterscheidung in allen Einzelfällen durchführen zu wollen. Um also zu einem Ziele zu gelangen, müssen wir uns entschliessen, auf eine gemeinschaftliche Benennung der sub I und II aufgeführten Grössen zu verzichten und das Wort „Kraft“ entweder ganz zu vermeiden oder dasselbe nur für e i n e dieser beiden Kategorien zu gebrauchen.

In diesem Sinne hat *Newton* den Begriff von Kraft durchgeführt. Er zerlegt bei Auflösung seiner Probleme das Produkt der Anziehung in den Wirkungsraum in seine zwei Faktoren und nennt den ersten derselben „Kraft“.

Dagegen ist aber zu bemerken, dass eine solche Zer-

legung des genannten Produktes in vielen Fällen nicht ausführbar ist. Nehmen wir z. B. den ganz einfachen Fall, eine anfänglich ruhende Masse M erhalte eine Bewegung mit der (gleichförmigen End-) Geschwindigkeit c, so lässt sich aus den bekannten Grössen M und c zwar auf die Grösse des Produktes der *Newton*schen Kraft in den Wirkungsraum, nicht aber auf die Grösse dieser Kraft selbst ein Schluss ziehen.

In der That hat sich auch bald das Bedürfnis herausgestellt, dieses Produkt als ein Ganzes zu behandeln und zu benennen. Man hat demselben ebenfalls den Namen „Kraft“ gegeben, und die in diesem Sinne gebrauchten Ausdrücke „lebendige Kraft der Bewegung“, „bewegende Kraft“, „Arbeitskraft“, „Pferdekraft“, „Muskelkraft“ u. s. w. sind in der Wissenschaft längst eingebürgert.

So glücklich hier die Wahl dieses Wortes in mancher Hinsicht genannt werden darf, so ist doch zu tadeln, dass man einem bereits bestehenden Kunstausdrucke eine neue Bedeutung zugelegt hat, ohne die frühere zugleich ausser Kurs zu setzen, und es ist dieser Formfehler zur Büchse der *Pandora* geworden, aus der eine babylonische Sprachverwirrung entsprungen ist.

Unter den obwaltenden Umständen ist nun nichts übrig, als entweder der *Newton*schen toten oder der *Leibnitz*schen lebendigen Kraft die Benennung „Kraft“ zu entziehen, wobei man aber in jedem Falle mit dem herrschenden Sprachgebrauche in Konflikt gerät.

Sind wir aber einmal entschlossen, in unsre Wissenschaft eine logisch richtige Terminologie, auch auf Kosten des uns durch Angewöhnung bequem und teuer gewordenen Bestehenden einzuführen, so kann die Wahl, die wir dann zwischen I und II zu treffen haben, nicht lange zweifelhaft bleiben.

Betrachten wir den elementaren Fall, dass eine anfänglich ruhende Masse Bewegung erhält, so geschieht dies, wie bereits gesagt, so, dass diese Masse einen gewissen Druck oder Zug erleidet, und unter demselben einen gewissen Raum, den Wirkungsraum, durchläuft. Nun ist aber allemal nicht

nur die Geschwindigkeit, sondern auch die Druckgrösse (*Newton*sche Kraft) in jedem Punkte des Wirkungsraumes eine andre, und es sind, um diese veränderliche Grösse mit dem Wirkungsraume multiplizieren, d. h. um aus der Druckgrösse die Bewegungsgrösse finden zu können, die Hilfsmittel der höheren Mathematik erforderlich.

Daraus folgt aber, dass der *Newton*sche Kraftbegriff ausser der Statik, wo der Wirkungsraum Null und die Druckgrösse konstant ist, nur für die höhere Mechanik passt, und es wäre nun offenbar nicht zweckmässig, den Begriff von „Kraft“ so zu wählen, dass derselbe da, wo die Grundbegriffe doch hauptsächlich hingehören, in der elementaren Bewegungslehre konsequenterweise nicht zu gebrauchen ist.

Ganz verkehrt ist es aber, einen *Newton*schen Kraftbegriff, nämlich die Schwere, der elementaren Wissenschaft dadurch gerecht machen zu wollen, dass man eine Haupteigenschaft derselben, ihre Abhängigkeit von der Entfernung, auf die Seite setzt, und diese ungenaue und nach Umständen sehr unrichtige *Galilei*sche Schwere zu einer „Kraft“ macht. Eine solche ideelle III. „Kraft“ scheint der Mehrzahl derjenigen, welche über naturwissenschaftliche Gegenstände schreiben, als das Urbild einer „Naturkraft“ vorzuschweben.

Grössenbestimmungen, denen nur eine bedingte und annähernde Gültigkeit zukommt, dürfen zur Aufstellung von Definitionen nicht benutzt werden. In der Rechnung wird man freilich ganz richtig einen Bogen, der im Verhältnis zum Halbmesser hinlänglich klein ist, dem Sinus oder der Tangente gleich setzen; wollte man aber auf ein solches Verhältnis Begriffsbestimmungen gründen, so würde man dadurch den Grund zu Inkonsequenzen und Irrtümern legen.

Der *Newton*sche Kraftbegriff, nach der gebräuchlichen Methode in das Gebiet der elementaren Wissenschaft verpflanzt, ist aber um nichts besser, als der Begriff einer geradlinigen Kurve. Die *Newton*sche Kraft, die Anziehung, *in specie* die Schwere g, ist gleich dem Differentialquotienten

aus der Zeit in die Geschwindigkeit; es ist also $g = \frac{dc}{dt}$. Dieser Ausdruck ist vollkommen genau, erfordert aber zu seiner Verständnis und Behandlung die höhere Mathematik. Hingegen kann man freilich, wo es sich um Fallräume handelt, die im Vergleiche zum Erdhalbmesser als verschwindend klein betrachtet werden dürfen, ohne erheblichen Rechnungsfehler der eben genannten Gleichung die abgekürzte und höchst bequeme Form $g = \frac{c}{t}$ geben; mathematisch genau ist aber dieser Ausdruck nie, so lange nur der Fallraum überhaupt noch eine berechenbare Grösse ist. Und auf Grund solcher prinzipiell unrichtiger Gleichung werden der empfänglichen Jugend die fehlerhaften Begriffe eingepflanzt: von der Schwere, als einer gleichförmig beschleunigenden (?), der Zeit proportional wirkenden (?) bewegenden (?) Kraft; von einer der erzeugten Geschwindigkeit einfach proportionalen Kraft (?) u. dgl. m.!

Gewiss wäre es sehr verdienstlich, wenn die Verfasser physikalischer Lehrbücher diesem Uebelstande abhelfen und bei ihren Definitionen nur von völlig exakten Grössenbestimmungen ausgehen wollten; denn die elementare Physik in 9
ihrer jetzigen Gestalt ist keine solide Wissenschaft, sondern eine Halbwisserei, deren Grundbegriffe und Lehrsätze man beim Eintreten in die eigentliche, höhere Wissenschaft so schnell als möglich zu vergessen suchen muss.

Hat man einmal durch eine unbefangene Prüfung gefunden, dass es ausser dem Herkommen nichts für — aber vieles gegen sich hat, den sub I aufgeführten Kraftbegriff unter solchem Namen festzuhalten, so ergibt sich das übrige fast von selbst. Den Denkgesetzen, wie dem allgemeinen Sprachgebrauch ist es angemessen, die Entstehung jeder Bewegung mit einem Kraftaufwande in Verbindung zu bringen. Hiernach ist „Kraft“:

Etwas, das bei der Erzeugung der Bewegung aufgewendet wird, und dieses Aufgewendete ist als Ursache der Wirkung, der hervorgebrachten Bewegung, gleich.

Diese Definition entspricht nicht allein den Thatsachen vollkommen, sondern sie schliesst sich auch möglichst dem Bestehenden an, indem sie, wie ich zeigen will, dem sub II aufgeführten Kraftbegriff der höheren Mechanik gleich kommt.

Wenn eine anfänglich ruhende Masse, M, während sie unter dem Drucke p (und in der Richtung desselben) den Wirkungsraum s durchläuft, eine Bewegung mit der Geschwindigkeit c erhält, so ist $ps = Mc^2 \left[ps = \frac{Mc^2}{2}\right]$. Da nun bei der Entstehung jeder Bewegung ein Druck (oder Zug) und ein Wirkungsraum vorhanden ist, und dabei jedesmal wenigstens der eine dieser Faktoren, der Wirkungsraum, verausgabt wird, so folgt daraus, dass eine Bewegung nie anders, als auf Kosten eines solchen Produktes ins Leben treten kann. Dieses Produkt $ps = Mc^2 \left[ps = \frac{Mc^2}{2}\right]$ nenne ich kurzweg eine „Kraft“.

Der Zusammenhang zwischen Verbrauch und Leistung — beziehungsweise die Erschöpfung der Kraft durch die Wirkung — stellt sich am einfachsten bei den Gravitationserscheinungen heraus. Es ist die notwendige Bedingung jeder Fallbewegung, dass die Schwerpunkte der resp. Massen, der Erde und des fallenden Gewichtes sich näherrücken. Die Annäherung findet aber im Zusammenfallen ihre natürliche Grenze, und es ist also die Erzeugung der Fallbewegung mit einem Verbrauche, beziehungsweise mit der Erschöpfung des gegebenen Fallraumes und eben damit auch des Produktes von dem Fallraume und der Anziehung, verknüpft. Das Fallen eines Gewichtes auf die Erde herab ist ein mechanischer Verbindungsprozess; gerade wie nun bei der Verbrennung die Leistungsfähigkeit (d. h. die Bedingung der Wärmeentwickelung) mit der erfolgten Verbindung zu Ende ist, so hört auch mit dem Herabfallen des Gewichtes die Bewegungsproduktion auf. Das auf dem festen Erdboden liegende Gewicht ist, wie die gebildete Kohlensäure, nichts weiter als ein *caput mortuum*. Die Affinität, die mechanische wie die chemische, besteht zwar auch nach der Ver-

einigung fort und setzt der Reduktion einen bestimmten Widerstand entgegen; die Leistungsfähigkeit aber ist zu Ende, wenn kein disponibler Fallraum mehr vorhanden ist.

Wo die Anziehung verschwindend klein oder Null ist, da ist der Raum kein Wirkungsraum mehr, und es folgt also aus der Abnahme, welche die Schwere in der Entfernung erleidet, dass der „Fallraum“ auch in centrifugaler Richtung eine Grenze hat, und dass mithin die Bewegungsursache, oder die „Kraft“ unter allen Umständen eine endliche, durch ihre Wirkung zu erschöpfende Grösse ist.

Diese physikalische Grundwahrheit wird sich an einem speciellen Falle und durch Zahlen am deutlichsten nachweisen lassen. Wenn 1 Pfundgewicht 1 Fuss hoch über den Erdboden erhoben ist, so ist die disponible Kraft bekanntlich = 1 Fusspfund. Beträgt die Fallhöhe dieses Gewichtes n Fusse, so kann, wenn n keine grosse Zahl ist, die Kraft annähernd = n Fusspfunde gesetzt werden. Wird aber n oder die anfängliche Entfernung des Gewichtes von der Erde zu einer sehr bedeutenden, beziehungsweise zu einer unendlichen Grösse, so wird dadurch keineswegs die Kraft (d. h. die Anzahl der Fusspfunde) eine unendliche, sondern sie wird dem *Newton*schen Gravitationsgesetze gemäss höchstens = r Fusspfunde, wo r die Anzahl der Fusse, die der Erdhalbmesser hat, bedeutet; wie gross also auch der Fallraum und die Fallzeit sein mag, so kann ein Gewicht durch Fallen gegen die Erde keine grössere Endgeschwindigkeit erlangen, als die von 34450 Pariser Fuss per Sekunde. Würde dagegen die Erde bei gleichem Volumen 4mal mehr Masse enthalten, so wäre auch die Kraft die 4fache, und die Maximalgeschwindigkeit wäre = 68900 Fuss. 10

Durch eine gute Terminologie müssen fundamentale Thatsachen solcher Art ins Licht gestellt werden, die gebräuchliche Nomenklatur thut aber davon das Gegenteil. Zum Belege dafür mögen einige Aeusserungen dienen, welche von einem sehr verdienten Naturforscher meiner Auffassungsweise entgegengestellt worden sind. 11

„Wenn es vollkommen wahr ist,“ sagt derselbe, „dass

in der Natur keine Bewegung vernichtet werden kann, oder dass, wie man sich ausdrückt, das Quantum der einmal vorhandenen Bewegung unverkümmert und unvermindert bleibt, und wenn in diesem Sinne auch jeder abgeleiteten Ursache der Charakter der Unzerstörlichkeit zukömmt, so gehört zu den Charakteren einer primitiven Ursache, d. h. einer wahren physischen Kraft, noch das Merkmal der Unerschöpflichkeit. Am besten werden sich diese Merkmale durch die nähere Betrachtung der Schwere entwickeln lassen, welche die thätigste und am weitesten verbreitete Naturkraft (primitive Ursache) ist, gleichsam die Weltseele, welche das Leben der grossen Massen, von deren Bewegungen die Ordnung des Alls abhängt, unzerstörbar und unerschöpflich unterhält, ohne dass sie von aussen irgend einer Nahrung bedarf, die ihre Thätigkeit immer wieder anfacht.“

Soll in diesen Worten ein materieller Widerspruch gegen meine Aufstellung enthalten sein, so muss durch dieselben gesagt werden wollen, dass die Erdanziehung vermöge ihrer Unerschöpflichkeit unter denkbaren Umständen im stande sei, einem Gewichte eine unendlich grosse Fallgeschwindigkeit zu erteilen. Gegen eine solche bestimmte Auffassung legt aber unser Schriftsteller selbst wieder an mehreren Stellen ein (allerdings begründetes) Misstrauen an den Tag, indem er u. a. sagt:

„Wenn wir die Verkettung der Ursachen und Wirkungen bis zu ihren ersten Anfängen verfolgen, so gelangen wir erst zu den wahren Kräften der Natur, zu den primitiven Ursachen, die zu ihrer Thätigkeit keine andere erfordern, die ihnen vorangeht, die keine Nahrung erheischen, die gleichsam aus einem unerschöpflichen Grunde Bewegungen immer wieder neu anfachen und vorhandene unterhalten und beschleunigen können.“ Ferner:

„Wenn der Mond jeden Augenblick doch eine gewisse Strecke wenigstens virtuell gegen die Erde fällt, welches ist die Kraft, die ihn in jedem folgenden Augenblick gleichsam von derselben entfernt hat, um eine neue Fallkraft hervorzurufen? Gerade die Unzerstörbarkeit und Unerschöpflich-

keit, das Vermögen zu allen Zeiten und unter allen Umständen wenigstens virtuell dieselbe Wirkung unerschöpflich hervorzubringen, macht das Wesen jeder wahren Kraft gleich primitiver Ursache aus."

Dieses im entscheidenden Augenblicke jedesmal dazwischentretende „gleichsam" und „wenigstens virtuell" gibt der Auslegung Raum, dass unser Schriftsteller seinen „wahren Naturkräften" die Fähigkeit selbst nicht recht zutraut, eine unerschöpfliche Menge von Bewegung (von aktueller Kraftäusserung) hervorbringen zu können, und das Unbestimmte dieser Aeusserungen ist überhaupt bezeichnend für die Proteusrolle, welche die Schwerkraft in den naturwissenschaftlichen Schriften spielt. Man gibt diesem Worte die willkürlichsten Auslegungen, und sucht sich, wo es die Thatsachen nicht mehr anders zulassen, wieder auf den *Newton*schen Begriff zurückzuziehen.

Indem man die Schwere eine Kraft nennt, und zugleich mit diesem Ausdrucke dem allgemeinen Sprachgebrauche gemäss die Vorstellung von einem Bewegung erzeugenden Objekte verbindet, wird man zu der irrigen Annahme geleitet, als ob eine mechanische Leistung — die Entstehung einer Bewegung — ohne einen entsprechenden Aufwand eines messbaren Objektes stattfinden könne, und hier liegt offenbar auch der Grund, warum unser Autor weder mit den Thatsachen, noch mit sich selbst ins reine kommen konnte. Hat man einmal die Entstehung einer Bewegung aus nichts statuiert, so muss man folgerichtig auch die Vernichtung einer Bewegung zulassen, und die Grösse der Bewegung muss dieser Annahme gemäss der Geschwindigkeit einfach proportional, oder $= Mc$, und das „Quantum der einmal vorhandenen Bewegung" $= + Mc - Mc = 0$ gesetzt werden. Der genannte Naturforscher erklärt aber trotz seiner „unerschöpflichen Kräfte" die Bewegung ausdrücklich für unzerstörlich; statt sich aber dann auszusprechen, was aus der Bewegung wird, die bei der Reibung verschwindet, sagt er an einer Stelle wieder, es bleibe „unentschieden", ob die Wirkung der Kraft — die hervorgebrachte Bewegungs-

grösse — durch die erste, oder ob sie durch die zweite Potenz der Geschwindigkeit gemessen werde (d. h. ob dieselbe zerstörlich sei oder nicht); ja er scheint wiederholten Aeusserungen nach sogar für möglich zu halten, dass aus einer gegebenen Menge von Wärme Bewegung *in infinitum* entwickelt werden könne! Wenn dem so wäre, dann dürfte freilich an eine Umwandlung dieser Grössen ineinander nicht gedacht werden, und es wäre vielmehr für
12 die Kontakttheorie der Boden gewonnen.

Die Polemik meines verehrten Kritikers, den ich hier als den Vertreter herrschender Ansichten redend eingeführt habe, und dem ich mich für die aufmerksame Prüfung meiner ersten Arbeit zu wahrem Danke verpflichtet fühle, scheint mir insofern von vornherein eine verfehlte, als die erste Aufgabe bei Bekämpfung meiner Behauptungen, die sich alle um den einen Punkt einer unveränderlichen Grössenbeziehung zwischen der Wärme und der Bewegung drehen, die sein musste, nachzuweisen, dass und wo die Grössenbeziehung eine veränderliche ist. Formelle Kontroversen ohne materielle Basis schweben in der Luft, und was insbesondere die Kräftefrage anbelangt, so handelt es sich ja zunächst nicht darum, was eine „Kraft“ für ein Ding ist, sondern darum, welches Ding wir „Kraft“ nennen wollen. Ein Hin- und Herreden über die Schwere ist, da alle Sachverständigen über das Wesen derselben einig sind, unfruchtbar; denn die Schwere ist und bleibt ein der anziehenden Masse direkt und dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportionaler Differentialquotient aus der Zeit in die Geschwindigkeit, und es sind über diesen Punkt die Akten längst geschlossen. Ob es aber zweckmässig ist, diese Grösse eine Kraft zu nennen, das ist eine andere Frage.

Da man, wo es sich um wesentliche Neuerungen handelt, so gerne missverstanden wird, so will ich meine Behauptung, dass der Ausdruck „Schwerkraft“ ein unpassender ist, hier nochmals aufs deutlichste motivieren.

Es ist eine unumstössliche Wahrheit, dass die Entstehung jeder Fallbewegung mit dem entprechenden Auf-

wande einer messbaren Grösse verbunden ist. Dieser Grösse, wenn sie anders ein Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchung sein soll — und warum sollte sie es nicht? — muss eine Name werden, und es ist dem Genius der Sprache, dieser Manifestation des logischen Instinkts der Menschheit, angemessen, hier kein anderes als das Wort „Kraft“ zu wählen. Da aber dieser Ausdruck bereits in einer anderen Bedeutung gebraucht wird, so könnte man versucht sein, dem — in der fundamentalen Wissenschaft wenigstens — noch unbenannten Begriffe geradezu einen neuen Namen zu schöpfen. Bevor wir jedoch zu diesem extremen Mittel, das uns aus naheliegenden Gründen mit dem Bestehenden ohnedies am meisten in Konflikt bringen würde, greifen, ist es vernunftgemäss, zu untersuchen, ob das, dem vorliegenden Bedürfnisse an und für sich so gut entsprechende Wort „Kraft“ dort, wo es die Schule zuerst hingestellt hat, auch am rechten Platze ist.

Dem allgemeinen Sprachgebrauche zufolge versteht man unter „Kraft“ etwas Bewegendes — eine Bewegungsursache — und wenn der Ausdruck „bewegende Kraft“ somit eigentlich ein Pleonasmus ist, so ist auf der andern Seite der Begriff von einer nicht bewegenden oder „toten“ Kraft eine *contradictio in adjecto*. Sagt man z. B.: eine Last, die mit ihrem Gewichte auf den Boden drückt, übe dadurch eine Kraft aus — eine Kraft, die, mag sie so gross sein, als sie will, für sich nicht im stande ist, die mindeste Bewegung hervorzubringen — so ist eine solche Auffassungs- und Ausdrucksweise zwar eine schulgerechte; sie ist aber so gekünstelt, dass sie die Quelle von unzähligen Missverständnissen wird.

Zwischen der Schwere und der Schwerkraft ist mir kein Unterschied bekannt, und halte ich deshalb den letzteren Ausdruck, weil er schwülstig ist, für unwissenschaftlich.

Man wende mir nicht ein, die Druck„kraft“, Schwer„kraft“, Kohäsions„kraft“ etc. sei die höhere Ursache des Drucks, der Schwere u. s. w. In den exakten Wissenschaften hat man es mit den Erscheinungen selbst, mit

messbaren Grössen, zu thun; der Urgrund der Dinge aber ist ein dem Menschenverstande ewig unerforschliches Wesen — die Gottheit, wohingegen „höhere Ursachen“ „übersinnliche Kräfte“ u. dergl. mit all ihren Konsequenzen in das illusorische Mittelreich der Naturphilosophie und des Mysticismus gehören.

Vermöge eines überall gültigen Gesetzes geht die Verschwendung Hand in Hand mit dem Mangel. Wenn wir in dem vorliegenden Falle, bei welchem sich diese Regel ebenfalls bewahrheitet, eine Ausgleichung eintreten lassen und das Wort „Kraft“ von da, wo es überflüssig und nachteilig ist, weg — und dahin bringen, wo es uns fehlt, so räumen wir dadurch zwei wichtige Hindernisse zugleich weg. Sofort ist der Eingang in die Bewegungslehre nicht erst von den Höhen der Mathematik aus zu erreichen; die Natur stellt sich vielmehr in einfacher Schönheit dem überraschten Auge dar, und selbst der Minderbefähigte vermag viele Gegenstände zu erblicken, die bisher den grössten Gelehrten verborgen sind.

Kraft und Materie sind unzerstörliche Objekte. Dies Gesetz, auf das sich die einzelnen Thatsachen am einfachsten zurückführen lassen, und das ich deshalb bildlich den heliocentrischen Standpunkt nennen möchte, ist eine naturgemässe Grundlage für die Physik, Chemie, Physiologie und — Philosophie.

Unter die zwar bekannten, aber bis jetzt nur empirisch konstatierten und vereinzelt dastehenden Thatsachen, die sich auf dieses Naturgesetz leicht zurückführen lassen, gehört die, dass die elektrische und magnetische Anziehung so wenig als die Schwere isoliert werden kann, oder dass die Stärke dieser Anziehungen bei gleich bleibender Entfernung durch die Dazwischenkunft von indifferenten Stoffen (von Nichtleitern) keine Veränderung erleidet.

Unter den bis auf die neueste Zeit unbekannt gebliebenen Thatsachen will ich nur des Einflusses gedenken, den die Ebbe und Flut den bekannten Gesetzen der Mechanik gemäss auf die Achsendrehung der Erde ausübt. Dass dieser

wichtige, mit dem eben genannten Grundgesetze enge zusammenhängende Gegenstand der Aufmerksamkeit der Naturforscher hat entgehen können, ist ein faktischer Beweis 13
gegen die ausschliessliche Berechtigung des herrschenden Systems.

Uebrigens wird es denen, welche mit der neueren Litteratur vertraut sind, nicht entgangen sein, dass sich in 14
der wissenschaftlichen Sprache eine meiner Auffassungsweise günstige Veränderung dermalen vorbereitet. Die Zeit muss aber bei solchen Dingen das meiste thun. — 15

Nach dem Bisherigen haben wir die lebendige Kraft der Bewegung eine Kraft zu nennen. Da man aber in der Mechanik unter diesem Ausdrucke ebensowohl eine der Masse und dem Quadrate ihrer Geschwindigkeit, als eine der Masse [dem Gewichte] und der Fallhöhe proportionale Grösse versteht, so zerfällt diese Kraft naturgemäss wieder in zwei sehr leicht voneinander zu unterscheidende Arten, wovon jede eines besonderen Kunstausdruckes bedarf, und schienen mir die Worte Bewegung und Fallkraft hierzu die passendsten zu sein.

„Bewegung“ ist also dieser Definition nach immer nur eine durch das Produkt der bewegten Masse in das [halbe] Quadrat der Geschwindigkeit, nicht aber eine durch das Produkt der Masse in die Geschwindigkeit messbare Grösse.

Unter „Fallkraft“ ist ein gehobenes Gewicht, oder allgemeiner noch, der räumliche Abstand ponderabler Objekte zu verstehen. In vielen Fällen wird die Grösse der Fallkraft hinreichend genau durch das Produkt der gehobenen Last in ihre Höhe gemessen, und die Ausdrücke „Fusspfund“, „Meterkilogramm“, „Pferdekraft“ u. a. m. sind konventionelle Masseinheiten dieser Kraft, welche insbesondere in der praktischen Mechanik neuerdings allgemein gebraucht werden. Um aber den genauen Massausdruck für die in Rede stehende Grösse zu finden, haben wir uns (zum mindesten) zwei Massen zu denken, welche in einer bestimmten Entfernung voneinander sich befinden und durch Annäherung Bewegung erhalten, und es muss nun die Beziehung aufgesucht werden, welche zwischen den Bedingungen der

Bewegung, nämlich der Quantität der Massen und ihrer anfänglichen sowohl, als übrigbleibenden Entfernung, und der hervorgebrachten Bewegung existiert.

Merkwürdigerweise ist diese Beziehung die denkbar einfachste, denn dem *Newton*schen Gravitationsgesetze gemäss ist die entstandene Bewegungsgrösse den Massen und dem Fallraume direkt, den beiden Entfernungen der Schwerpunkte aber umgekehrt proportional. D. h. wenn A und B die beiden Massen, c und c' ihre erlangten Geschwindigkeiten,
16 h und h' die erste und zweite Entfernung, so ist

$$Ac^2 + Bc' = \frac{A\,B\,(h - h')}{h\,h'}$$

mit Worten: Die Fallkraft ist gleich dem Produkte der Massen in den Fallraum, dividiert durch die beiden Entfernungen.

Mit Hilfe dieses Satzes, der, wie man leicht sieht, nur ein allgemeinerer und bequemerer Ausdruck des *Newton*schen Gravitationsgesetzes ist [1]), lassen sich die Gesetze des Falls aus kosmischen Höhen und im allgemeinen auch die Centralbewegungen entwickeln, ohne dass man dabei über die Gleichungen des zweiten Grades hinauszugehen nötig hat.

Nachdem wir jetzt zwei Kräftearten, die Bewegung und die Fallkraft, kennen gelernt haben, so können wir der bekannten Regel gemäss den Gattungsbegriff „Kraft“ dadurch bilden, dass wir die gemeinschaftlichen Merkmale der beiden Arten zusammenfassen, und haben wir zu dem Ende die Eigenschaften dieser Objekte näher zu betrachten. Die wichtigste derselben beruht auf ihrer gegenseitigen Beziehung. Wo eine gegebene Menge von Fallkraft verschwindet, da entsteht Bewegung, und durch den Aufwand

---

*) Die *Newton*sche Formel bezieht sich auf den speciellen Fall, wo die beiden Entfernungen einander gleich sind und daher aus dem
17 Produkte derselben ein Quadrat wird. Für diesen Fall wird aber sowohl der Fallraum, als die Geschwindigkeit zu Null, und es sind deshalb, wenn man von hier ausgehend reelle Geschwindigkeiten zu berechnen hat, mathematische Kunstgriffe nötig, welche in der elementaren Wissenschaft nicht angewendet werden können.

dieser letzteren lässt sich die Fallkraft in ihrer ursprünglichen Grösse wiederherstellen.

Diese, zwischen der Fallkraft und der Bewegung bestehende konstante Proportion, welche in der höheren Mechanik unter dem Namen „Prinzip der Erhaltung lebendiger Kräfte“ aufgeführt wird, kann kurz und passend mit dem Ausdrucke „Umwandlung“ bezeichnet werden. Wir können also z. B. sagen: ein Planet, der aus der Sonnenferne in die Sonnennähe gelangt, verwandelt einen Teil seiner Fallkraft in Bewegung, und setzt, während er sich von der Sonne wieder entfernt, einen Teil seiner Bewegung in Fallkraft um. Etwas andres, als eine konstante numerische Beziehung soll und kann hier das Wort „Umwandeln“ nicht ausdrücken.

Die Entstehung einer bestimmten Menge von Bewegung aus einer gegebenen Menge von Fallkraft, und umgekehrt, setzt aber dem S. 247 erwähnten Axiome zufolge voraus, dass sowohl die Fallkraft, als die Bewegung weder im ganzen noch einem Teile nach zu Null werden kann. Wir erhalten also folgende Definition:

Kräfte sind wandelbare, unzerstörliche und — zum Unterschiede von den Materien — imponderable Objekte. (Vergl. a. a. O. S. 24.)

Es schliesst die Definition, wie man leicht sieht, unter anderem die Thatsache in sich ein, dass die bei verschiedenen mechanischen Prozessen verschwindende Bewegung mit der dabei entstehenden Wärme in konstanter Proportion steht, oder dass sich die Bewegung, als eine unzerstörliche Grösse, in Wärme verwandeln lässt. Die Wärme ist also wie die Bewegung eine Kraft, die Bewegung wie die Wärme ein Imponderabile.

Die Beziehung, in welcher die Kräfte zu einander stehen, habe ich dadurch charakterisiert, dass ich sie (a. a. O. S. 24) „verschiedene Erscheinungsformen eines und desselben Objektes“ genannt habe. Dabei habe ich mich aber aus-

drücklich gegen die zwar nahe gelegte, aber doch unerwiesene und meiner Ansicht nach zu weit gehende Folgerung erklärt, als ob die Wärmeerscheinungen schlechthin als Bewegungserscheinungen aufzufassen seien. Es heisst hierüber S. 28:

„So wenig indessen aus dem zwischen Fallkraft und Bewegung bestehenden Zusammenhange geschlossen werden kann: das Wesen der Fallkraft sei Bewegung, so wenig gilt dieser Schluss für die Wärme. Wir möchten vielmehr das Gegenteil folgern, dass um zu Wärme werden zu können, die Bewegung — sei sie eine einfache oder vibrierende, wie das Licht, die strahlende Wärme etc. — aufhören müsse, Bewegung zu sein.“

Der Zusammenhang, in welchem, wie wir gesehen haben, die Wärme mit der Bewegung steht, bezieht sich auf die Quantität, nicht auf die Qualität, denn es sind — um mit *Euklid* zu reden — Gegenstände, die einander gleich sind, sich deshalb noch nicht ähnlich. Hüte man sich, den Boden des Objektiven zu verlassen, wenn man sich nicht in selbstbereitete Schwierigkeiten verwickeln will!

Inzwischen geht wenigstens so viel aus dem bisherigen hervor, dass es keine specifische Fluida sind, denen die Erscheinungen der Wärme, der Elektrizität und des Magnetismus ihr Dasein verdanken und es wird somit die schon vor
18 einem halben Jahrhunderte von *Rumford* behauptete Immaterialität der Wärme durch die Auffindung des mechanischen Aequivalents derselben zur Gewissheit.

Die Kraftform, welche mit dem Namen „Wärme“ bezeichnet wird, ist offenbar keine einheitliche, vielmehr werden unter dieser Benennung verschiedenartige, obwohl unter sich äquivalente Objekte zusammengefasst, von denen dem Sprachgebrauche gemäss drei Hauptformen zu unterscheiden sind: nämlich I. die strahlende, II. die freie, specifische, und III. die latente Wärme.

Dass die strahlende Wärme als eine Bewegungserscheinung zu betrachten ist, darüber kann kein Zweifel obwalten; sind doch die Interferenzerscheinungen neuerdings auch bei

der Wärmestrahlung nachgewiesen worden. Ob es aber, wie man anzunehmen pflegt, wirklich eine specifische Aetherflüssigkeit gibt, die durch ihre vibrierende Bewegung als strahlende Wärme sich manifestiert, oder ob diese Bewegung den Massenteilen der verschiedenen Körper selbst zukommt, dies ist noch nicht ausgemacht.

Noch mehr ist das Wesen der specifischen Wärme oder das was im Innern eines erwärmten Körpers vorgeht, in Dunkel gehüllt. Nicht nur, dass die ungelöste Aetherfrage hier wiederum eine Rolle spielt, sondern wir müssten auch, um über diesen Gegenstand ins reine kommen zu können, zuvor eine genaue Kenntnis von dem innersten Wesen der Materien besitzen. Allein dazu fehlt noch viel; denn es ist uns insbesondere unbekannt, ob es Atome gibt, d. h. ob die Materien aus solchen Bestandteilen zusammengesetzt sind, die bei den chemischen Prozessen an sich keine Formveränderung mehr erfahren.

Dem Menschen, dem nur eine Spanne von der Zeit, die sich nach rück- und vorwärts in die Ewigkeit fortsetzt, hienieden zugemessen ist, und dessen Fuss nur einen nach oben und unten hin enge abgegrenzten Raum zu betreten vermag, sind auch in seiner wissenschaftlichen Erkenntnis sowohl in der Richtung nach dem unendlich Grossen als dem unendlich Kleinen hin natürliche Schranken gezogen. Die Atomenfrage aber führt uns wie mir scheint über diese Schranke hinaus und halte ich sie deswegen für unpraktisch. Ein Atom an sich wird, so wenig als ein Differential, Gegenstand unsrer Untersuchung sein können, obgleich das Verhältnis, in welchem solche unmessbar kleine Hilfsgrössen unter sich stehen, durch konkrete Zahlen darstellbar ist. In jedem Falle aber ist der Begriff von einem Atome stets nur relativ aufzufassen und in Beziehung zu einem bestimmten Prozesse zu denken; denn bei der Bildung und Zersetzung eines Salzes z. B. können bekanntlich die Massenteilchen der Säure und der Basis die Rollen von Atomen spielen, während bei andern Prozessen diese Atome selbst wieder der Zerlegung unterliegen.

Angenommen nun — was neuerdings u. a. aus den Gesetzen der Isomorphie mit Wahrscheinlichkeit hervorgeht — dass es wirklich in chemischer Beziehung Atome gibt, so wäre die weitere Frage zu beantworten, ob man bei fortgesetzter Teilung der Materie zuletzt auch auf Moleküle gelangt, die in Beziehung auf die Wärmeerscheinungen Atome sind, in deren Inneres die Wärme also nicht zu dringen im stande wäre, und die bei Erwärmung des Ganzen eine Volumensvermehrung ihrerseits nicht erfahren würden? Da uns die Anhaltspunkte zur Beantwortung solcher notwendigen Vorfragen fehlen, so sind wir zu dem Ausspruche genötigt, dass wir uns — ob mit oder ohne Annahme von Aether und Atomen — was das Wesen der specifischen Wärme betrifft, im Zustande des Nichtwissens befinden.

Der Ausdruck „latente Wärme“ bezieht sich auf die richtig erkannte Eigenschaft der Unzerstörlichkeit derselben. In allen Fällen, wo die thermometrisch-wahrnehmbare, specifische Wärme verschwindet, muss angenommen werden, dass dieselbe nur dadurch der Wahrnehmung sich entzieht, dass sie eine andre Daseinsform annimmt, und dass durch einen geeigneten Rückführungsprozess die freie Wärme in ihrer ursprünglichen Grösse wieder hergestellt werden kann. Dies ist das Thatsächliche der Lehre von der latenten Wärme, und es können also, soferne man sich nur an dieses hält, alle hierher gehörigen Erscheinungen als Belege für das in Rede stehende Prinzip der Umwandlung und der Erhaltung der Kraft in Anspruch genommen werden.

Der Begriff der latenten Wärme ist hiernach kein andrer, als der eines der freien Wärme äquivalenten Gegenstandes, und es umfasst also die Lehre von der freien und latenten Wärme so ziemlich das ganze Gebiet der Physik. Einige aus der Fülle der Thatsachen gewählte Beispiele mögen zeigen, auf welche Weise die Erscheinungen, bei welchen Wärme latent wird, meiner Ansicht nach aufzufassen sind.

Wenn einem unter konstantem Drucke befindlichen Gase Wärme zugeführt wird, so wird die freie Wärme des

Gases vermehrt, und es wird zugleich eine berechenbare Quantität von Wärme latent, dabei dehnt sich das Gas aus, und dadurch wird eine, der Grösse des Druckes und des zurückgelegten Raumes proportionale Menge von lebendiger Kraft erzeugt. Sobald wir nun wissen, wieviel von der latent gewordenen Wärme auf Rechnung der Ausdehnung des Gases kommt, so kennen wir auch den, der hervorgebrachten lebendigen Kraft entsprechenden Rest der latenten Wärme. Nun hat *Gay-Lussac* durch Versuche bewiesen, dass die specifische Wärme eines Gases, das aus einem Behälter in einen luftleeren Raum einströmt, keine merkliche Veränderung erfährt. Daraus geht hervor, dass 19
ein gasförmiger Körper dem Auseinanderreissen seiner Massenteile keinen wahrnehmbaren Widerstand entgegensetzt, und dass bei der Verdünnung eines Gases an und für sich, d. h. wenn dieselbe ohne Kraftentwickelung vor sich geht, keine Wärme latent wird. Es ist also die ganze, bei der Ausdehnung eines Gases latent werdende Wärmemenge das Aequivalent für die erzeugte lebendige Kraft.

Aus dem von niemand in Zweifel gezogenen Prinzipe der Unzerstörlichkeit der Wärme folgt, dass die auf solche Weise latent gewordene Wärmemenge wieder frei werden muss, wenn mittelst der gewonnenen lebendigen Kraft der Bewegung auf irgend welche Weise Wärme erzeugt wird. Bewegung ist latente Wärme, und Wärme ist latente Bewegung.

Eine specielle Anwendung dieses allgemeinen Satzes ist das berühmte Gesetz von *Dulong:* dass die Wärmemenge, welche man durch das Zusammendrücken von Luftarten erhält, nur von dem Kraftverbrauche und nicht von der chemischen Beschaffenheit, der Spannung und der Temperatur dieser Gase abhängig ist. Dass aber dieses Naturgesetz 20
noch eine viel allgemeinere Gültigkeit hat, und dass die bei der Ausdehnung eines Gases latent werdende Wärmemenge die in jedem Falle wieder zum Vorschein kommt, wenn man gewonnene lebendige Kraft, sei es nun durch Luftkompression, durch Reibung oder durch unelastischen Stoss, zur Wärme-

erzeugung benützt, dies habe ich in dem mehrerwähnten Aufsatze dargelegt, und dort das mechanische Aequivalent der Wärme nach unbestreitbar richtigen Prämissen berechnet. Als Gegenprobe habe ich damals die Wärme gemessen, die bei der Papierfabrikation in den Holländern erzeugt wird, und dieselbe mit der verbrauchten Arbeitskraft verglichen, wobei sich eine befriedigende Uebereinstimmung
21 herausgestellt hat. Neuerdings ist es mir auch gelungen, zur direkten Bestimmung des mechanischen Aequivalents
22 der Wärme einen sehr einfachen Wärmebewegungsmesser in kleinerem Massstabe zu konstruieren, mit welchem sich die Richtigkeit des in Rede stehenden Prinzips *ad oculos* demonstrieren lässt, und ich habe Grund zu glauben, dass mittelst eines solchen kalorimotorischen Apparates auch der Nutzeffekt von Wasserwerken und Dampfmaschinen leicht und vorteilhaft gemessen werden kann. Doch muss es dem künftigen Urteile der Techniker vorbehalten bleiben, darüber zu entscheiden, ob und wieweit diese Methode vor der *Prony*-
23 schen den Vorzug verdient.

Ein Latentwerden von Wärme findet ferner bei gewissen Aggregatveränderungen der Körper statt. Da es eine ausgemachte Thatsache ist, dass feste sowohl als tropfbarflüssige Körper der Trennung ihrer Teile einen gewissen Widerstand entgegensetzen, und da die Beseitigung mechanischer Widerstände im allgemeinen einen Verbrauch von lebendiger Kraft bedingt, so lässt sich schon *a priori* vermuten, dass da, wo die Kohäsion eines Körpers vermindert, beziehungsweise aufgehoben wird, Kraft oder Wärme latent werden muss, was bekanntlich mit der Erfahrung gut übereinstimmt.

Von diesem Gesichtspunkte ausgehend, hat der französische Physiker *Person* auf experimentalem Wege nachzuweisen gesucht, dass die latente Schmelzwärme der Metalle, über welche er viele Beobachtungen angestellt hat, mit der Kohäsion dieser Körper in einem direkten Grössenverhält-
24 nisse stehe. Es sind aber solche Bestimmungen dermalen mit kaum zu überwindenden Schwierigkeiten verknüpft.

Auf ganz ähnliche Weise hat *Holtzmann* in seiner

wichtigen Arbeit „Ueber die Wärme und Elastizität der Gase und Dämpfe“ (Mannheim 1845) die bei der Verdampfung des Wassers latent werdende Wärme aufgefasst. Von dem Satze ausgehend, dass das Aequivalent der Temperaturerhöhung eine Gewichtserhebung sei, berechnet dieser Gelehrte das mechanische Aequivalent der Wärme ebenfalls aus der bei der Ausdehnung eines Gases latent werdenden Wärme und denkt sich die latente Wärme des Dampfes sehr richtig in zwei Teile zerlegt, wovon der eine, kleinere, zur Ueberwindung des entgegenstehenden atmosphärischen Druckes verwendet wird und hiernach mit Hilfe des mechanischen Aequivalents der Wärme leicht bestimmt werden kann; den übrig bleibenden, nun ebenfalls berechenbaren Teil nennt *Holtzmann:* die zur Aufhebung der Kohäsion des Wassers erforderliche Wärme. Diese letztere geht bei allen Dampfmaschinen verloren und *Holtzmann* berechnet aus diesen Prämissen, um wieviel vorteilhafter Hochdruckmaschinen arbeiten als Niederdruckmaschinen*).

Wenn die eben gegebene Auffassung von der latenten Schmelz- und Verdampfungswärme richtig ist, so muss auch beim Pulverisieren harter Körper ein Latentwerden von Wärme stattfinden, und es müssen solche Körper, wenn sie aus dem feinzerteilten in den tropfbarflüssigen Zustand übergehen, eine kleinere Menge von Wärme binden, als wenn die Auflösung vom unzerteilten Zustande aus erfolgt. Einige von mir hierüber angestellte Versuche haben mir inzwischen noch kein bestimmtes Resultat gegeben.

Bemerkenswert ist auch, dass gewisse feste, einer allotropischen Veränderung fähige Körper, z. B. die Sauerstoffverbindungen des Eisens, beim Uebergange aus dem Zustande einer geringeren in den einer grösseren Härte bedeutende Wärmemengen zu entwickeln vermögen. Solche Thatsachen, deren man wohl mit der Zeit eine immer grös-

---

*) Den grössten Nutzeffekt müssen solche Maschinen geben, bei welchen der Dampf während seiner Expansion eine Wärmezufuhr 25 erhält.

sere Zahl kennen lernen wird, stimmen mit dem obigen Satze gut überein, dass die Kohäsionsverminderung mit einem Kraft- oder Wärmeverbrauche, und die Kohäsionsvermehrung dagegen mit einer Wärmeerzeugung verknüpft ist.

Der herrschende Sprachgebrauch, welcher die Schwere mit dem Namen einer bewegenden Kraft, die Wärme mit der eines Stoffes bezeichnet, macht, dass einerseits die Bedeutung eines wichtigen Naturgegenstandes, des Fallraumes, dem Bewusstsein möglichst ferne gerückt wird, und andrerseits die Wärme eine von der lebendigen Kraft der Bewegung weit entlegene Stelle erhält. Das wissenschaftliche System wird dadurch zu einem künstlichen, auf dessen zerklüftetem Grunde man sich überall nur mittelst des mächtigen Hilfsmittels der höheren Analysis sicher fortbewegen kann.

Ohne Zweifel ist diesem Uebelstande auch zuzuschreiben, dass der so einfache und naheliegende Zusammenhang der Wärme und der Bewegung bis auf die neueste Zeit hat ver-
26 borgen bleiben können. Indessen mussten, wie schon oben angedeutet, die Massbestimmungen der chemischen Wärmeeffekte und der galvanischen Aktionen, sowie die im Sinne
27 *Liebigs* über die Lebenserscheinungen angestellten Untersuchungen bald zu dem unschwer aufzufindenden Gesetze von der Aequivalenz der Wärme und der Bewegung führen.

In der That wurde dieses Gesetz und dessen numerischer Ausdruck, das mechanische Aequivalent der Wärme, fast gleichzeitig in Deutschland und in England veröffentlicht.

Von der Thatsache ausgehend, dass die Grösse des chemischen sowohl, als des galvanischen Effektes einzig und allein von der Grösse des Materialsverbrauches abhängt, wurde der berühmte englische Physiker *Joule* zu dem Satze geführt, dass die Bewegungs- und die Wärmeerscheinungen wesentlich auf einem und demselben Prinzipe beruhen, oder, wie er sich auch gleich mir ausdrückt, dass sich Wärme und Bewegung ineinander verwandeln lassen.

Ausserdem dass diesem Gelehrten die selbständige Auffindung des genannten Naturgesetzes nicht bestritten werden kann, so hat sich derselbe auch um die weitere Begründung und Entwickelung desselben zahlreiche und wichtige Verdienste erworben. *Joule* hat gezeigt, dass wenn mittels des Elektromagnetismus Bewegung erzeugt wird, der Wärme- 28
effekt des galvanischen Stromes in einem entsprechenden, konstanten Verhältnisse sich vermindert. Ferner hat derselbe nachgewiesen, dass durch Umkehren der Pole eines Magnetstabes eine dem Quadrate der magnetischen Spannung proportionale Wärmemenge erzeugt wird, — eine Thatsache, die von mir ebenfalls, jedoch später, aufgefunden worden 29
ist. Insbesondere hat auch *Joule* mittels zahlreicher Versuche dargethan, dass die unter verschiedenen Umständen durch Reibung entwickelte Wärme mit dem Kraftverbrauche in einem unveränderlichen Verhältnisse steht. Nach seinen neuesten Versuchen dieser Art hat er das mechanische Aequivalent der Wärme = 423*) gesetzt. 30

Auch hat *Joule* über das hierher gehörige thermische Verhalten elastischer Flüssigkeiten bei der Ausdehnung Experimentaluntersuchungen angestellt und dadurch frühere Angaben andrer Physiker bestätigt. — 31

Der neue Gegenstand fing bald an, die Aufmerksamkeit der Gelehrten zu erregen. Da aber derselbe im Aus- und Inlande als eine ausschliesslich fremde Entdeckung abgehandelt wurde, so versetzte mich dies in die Notwendigkeit, meine auf Priorität sich gründenden Ansprüche geltend zu 32
machen. Denn wenn gleich die von mir veröffentlichten wenigen Arbeiten, die in der Flut von Druckschriften, welche jeder Tag bringt, fast spurlos verschwunden sind, schon in ihrer Form den Beweis enthalten, dass ich nicht nach Effekt hasche, so soll damit doch keineswegs eine Geneigtheit, von dokumentierten Eigentumsrechten abzugehen, ausgesprochen sein.

---

*) Das heisst 1 Kalorie = 423 Meterkilogramm.

Mit Hilfe des mechanischen Aequivalents der Wärme lassen sich Probleme lösen, welche ohne dasselbe nicht in Angriff genommen werden konnten, und es ist hierher insbesondere die Berechnung des durch den Zusammenstoss kosmischer Massen hervorgebrachten Wärmeeffektes zu zählen, worüber eine kurze Andeutung noch am Platze sein wird.

Eine Aufgabe dieser Art ist folgende: Angenommen, ein kosmischer Körper tritt mit einer Geschwindigkeit von 4 geographischen Meilen per Sekunde in die Atmosphäre unsrer Erde ein und verliert durch den hier stattfindenden Widerstand soviel von seiner lebendigen Kraft der Bewegung, dass die Geschwindigkeit, die ihm beim Austreten aus der Atmosphäre übrig geblieben ist, 3 Meilen beträgt, so entsteht die Frage: wie gross ist der bei diesem Vorgange stattfindende Wärmeeffekt?

Unter Zugrundelegung des mechanischen Aequivalents der Wärme findet man durch einfache Rechnung, dass die gesuchte Wärmemenge ungefähr 7mal grösser ist, als die Verbrennungswärme eines gleichen Gewichtes Kohlen, diese
33 zu 6000 Wärmeeinheiten per Kilogramm gerechnet. Daraus geht hervor, dass die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Sternschnuppen und Feuerkugeln bewegen, und die sich bekanntlich den astronomischen Beobachtungen gemäss auf 4 bis 8 Meilen beläuft, die vollgültige Bedingung der heftigsten Hitzeentwickelung ist, und es ist uns dadurch eine Einsicht in die Natur dieser merkwürdigen Phänomene eröffnet*).

Eine Aufgabe ähnlicher Art ist ferner folgende: Wenn zwei kosmische Massen, welche im Weltraume um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt sich bewegen, durch irgend etwas, z. B. durch einen Widerstand des sie umgebenden Mediums veranlasst werden, zusammenzufallen, so wird

---

*) Die Ansicht, dass die in Rede stehenden Meteore ihr Licht einem mechanischen Prozesse — sei es nun der Reibung, oder der Luftkompression — verdanken, ist nicht neu; es konnte dieselbe aber ohne die Kenntnis des mechanischen Aequivalents der Wärme nicht wissenschaftlich begründet werden.

wieder gefragt, wie gross der Wärmeeffekt ist, der diesem mechanischen Verbindungsprozesse entspricht?

Wenn man auch die Elemente der Bahnen — d. h. die Excentrizität derselben — nicht kennt, so lässt sich aus dem gegebenen Gewichte und Volumen der resp. Massen doch das Minimum und das Maximum des gesuchten Effektes auffinden. Es möge nun beispielsweise angenommen werden, unsre Erde sei in zwei gleich grosse Kugeln geteilt gewesen, die sich auf die angegebene Weise vereinigt haben, so lehrt die Rechnung, dass hier in jedem Falle bedeutend mehr Wärme entwickelt werden musste, als bei gleichem Gewichtsverbrauche der intensivste chemische Prozess zu liefern im stande gewesen wäre. 34

Es ist mehr als wahrscheinlich, dass die Erde auf derartige Weise entstanden ist, und dass infolge dieses Prozesses unsre Sonne, von Fixsternentfernung aus gesehen, zu jener Zeit ein vorübergehendes Auflodern ihrer Lichtes gezeigt hat. Was aber in unsrem Sonnensysteme vielleicht vor Millionen von Jahren stattgefunden hat, dies geht noch gegenwärtig am Fixsternhimmel hie und da vor, und es lassen sich die vorübergehenden Erscheinungen von Sternen, welche zum Teil, wie der berühmte Stern *Tycho*s, mit ausserordentlicher Lichtstärke auftreten, durch die Annahme eines Zusammenfallens vorher unsichtbarer Doppelgestirne auf eine befriedigende Weise erklären. 35

Solchen explosiven Lichtentwicklungen steht das ruhige Strahlen gegenüber, welches die meisten Fixsterne und darunter auch unsre Sonne durch ungeheure Zeiträume hindurch gleichförmig andauernd zeigen. Begründen nun diese, zu höheren Betrachtungen vorzugsweise einladenden Erscheinungen eine wirkliche Ausnahme von dem nach dem Bisherigen als konstatiert zu betrachtenden Naturgesetze der Erschöpfung der Ursache durch die Wirkung, oder ist uns bei der kleinen Summe des menschlichen Wissens erlaubt, auch hier an ein Gleichgewicht zwischen Leistung und Verbrauch zu denken und nach den Bedingungen eines solchen zu forschen?

Ein näheres Eingehen auf diesen Gegenstand würde uns über den Zweck der vorliegenden Abhandlung hinausführen, und so schliesse ich in der Hoffnung, dass es dem
36 Leser gefallen möge, manches, was in dieser Schrift unge-
37 sagt geblieben ist, durch eigenes Nachdenken zu ergänzen.

Anmerkungen des Herausgebers.

1. Diese Ansicht hat schon *Newton* in seinen Principia mathematica etc., London 1687, vertreten, und 25 Jahre nach *Mayer* sprach sich *Kirchhoff* im Vorworte zu seinen „Vorlesungen über mathematische Physik“, Leipzig 1876, ganz ähnlich aus. Nachdem er es als wünschenswert bezeichnet hat, Dunkelheiten aus der Mechanik zu entfernen, fährt er fort: „Aus diesem Grunde stelle ich es als die Aufgabe der Mechanik hin, die in der Natur vor sich gehenden Bewegungen zu beschreiben, und zwar vollständig und auf die einfachste Weise zu beschreiben. Ich will damit sagen, dass es sich nur darum handeln soll, anzugeben, welches die Erscheinungen sind, die stattfinden, nicht aber darum, ihre Ursachen zu ermitteln.“

2. *Mayer* nimmt hier, Ende 1850, das mechanische Wärmeäquivalent zu 390 mk an. In einer Mitteilung an die Münchener Akademie vom Mai 1851 wählte er 400 mk. Vergl. „Kleinere Schriften und Briefe“, XIV 1. Am Schlusse des gegenwärtigen Aufsatzes citiert er (1850) als Resultat von *Joule* 423 mk. Vergl. Anmerkung 30.

3. Vergl. oben S. 105 und „Kleinere Schriften und Briefe“, VII 8, XIX 2 C.

4. Man sehe insbesondere Oeuvres de *Lavoisier* II, Paris 1862, p. 174—183, 318—333, 688—714; auch *Gehlers* Physikalisches Wörterbuch, X 1842, S. 387. — Schon im Jahre 1777 hatte *Lavoisier* die Wahrscheinlichkeit erwähnt, dass die rote Farbe des Blutes von einer Oxydation herrühre (Oeuvres II p. 181). Im gleichen Jahre stellte er in seinem grundlegenden Aufsatze „Sur la combustion en général“ die Hypothese auf, dass die tierische Wärme auf einen Verbrennungsprozess zurückzuführen sei (Oeuvres II p. 232). 1780 aber kamen *Lavoisier* und *Laplace*, gestützt auf Versuche, zu dem Resultate: „Quelle que soit la manière dont la chaleur animale se répare, celle que dégage la formation de l'air fixe en est la cause première; ainsi nous pouvons établir la proposition suivante: lorsqu'un animal est dans un état permanent et tranquille; lorsqu'il peut vivre pendant

un temps considérable, sans souffrir, dans le milieu qui l'environne; en général, lorsque les circonstances dans lesquelles il se trouve n'altèrent point sensiblement son sang et ses humeurs, de sorte qu'après plusieurs heures le système animal n'éprouve point de variation sensible; la conservation de la chaleur animale est dûe, au moins en grande partie, à la chaleur que produit la combinaison de l'air pur respiré par les animaux avec la base de l'air fixe que le sang lui fournit." (Oeuvres II p. 331.)

5. Vergl. den Brief an *Griesinger* vom 5. und 6. Dezember 1842, „Kleinere Schriften und Briefe", VII 3.

6. *Liebig* sagt in seiner „Organischen Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie", Braunschweig 1842, S. 33: „Es ist nun schlechterdings unmöglich, dass eine gegebene Menge Kohlenstoff oder Wasserstoff, welche verschiedene Formen sie auch im Laufe der Verbrennung annehmen mögen, mehr Wärme hervorzubringen fähig ist, als wie sie liefert, wenn sie im Sauerstoffgas oder in der Luft direkt verbrannt wird. Wenn wir Feuer unter eine Dampfmaschine machen und die erhaltene Kraft benutzen, um durch Reibung Wärme hervorzubringen, so kann diese in keiner Weise jemals grösser sein, als die Wärme, die wir nötig gehabt haben, um den Dampfkessel zu heizen."

7. Zwanzig Jahre vorher hatte *Fourier* im Vorworte zu seiner „Théorie analytique de la chaleur", Paris 1822, geschrieben: „Was auch die Ausdehnung der mechanischen Theorien sein möge, sie wenden sich nicht auf die Wärmewirkungen an. Diese bilden eine besondere Ordnung von Erscheinungen, welche durch die Prinzipien der Bewegung und des Gleichgewichts nicht erklärt werden können."

8. Siehe hierüber den Brief an *Baur* vom 30. November 1844, „Kleinere Schriften und Briefe", VI 19.

9. Vergl. den Brief an *Baur* vom 6. August 1842, „Kleinere Schriften und Briefe", VI 9.

10. Vergl. S. 60, 167 und die Ableitung in Anmerkung 15 zu Aufsatz III. Aus der dort erhaltenen Gleichung 10) folgt die von *Mayer* angeführte grösste disponible Fallkraft der Gewichtseinheit $\frac{1}{g}\frac{G^2}{2} = r$.

11. Von *Christian Heinrich Pfaff*, Professor der Medizin, Physik und Chemie an der Universität Kiel, in einer Kritik des ersten *Mayer*schen Aufsatzes. Dieselbe ist abgedruckt in „Kleinere Schriften und Briefe" unter VIII 1.

12. *Pfaffs* Kritik des *Mayer*schen Aufsatzes erschien in dessen „Parallele der chemischen Theorie und der *Volta*schen Kontakttheorie der *Galvani*schen Kette", Kiel 1845, in welcher *Pfaff* für die seither aufgegebene Kontakttheorie eintrat.

13. Vergl. jedoch die Bemerkung über *Kant* in dem folgenden Aufsatze VIII.

14. Nach „vertraut sind“ war in der ersten Ausgabe der „Bemerkungen über das mechanische Aequivalent der Wärme“ auf folgende Fussnote verwiesen, welche in der „Mechanik der Wärme“ weggeblieben ist:

„Dagegen hat die Augsburger Allgemeine Zeitung in ihrer Beilage vom 21. Mai 1849 eine Warnung vor meinen Arbeiten ergehen lassen. Die Aequivalenz der Wärme und der Bewegung sei, wie es dort heisst, ein durchaus unwissenschaftliches Paradoxon, denn die Wärme habe ja noch nie eine Bewegung, und Bewegung noch nie Wärme hervorgebracht! U. dergl. m. Der Berichterstatter dieser Zeitung hat nachgehends seine Behauptung in einer Druckschrift widerrufen und „die Auffindung der sogenannten Aequivalentenzahl zwischen mechanischer Kraft und Wärme für eine vollendete Thatsache“ erklärt. Was aber die Redaktion der Allgemeinen Zeitung anbelangt, so veranlasst mich das von ihr in dieser Sache beobachtete Verfahren den Wunsch auszusprechen, es möchte dieselbe, wenn sie keine glücklichere Wahl ihrer Korrespondenten zu treffen weiss, vor Aufnahme von Artikeln wissenschaftlichen Inhalts wenigstens einen sachverständigen Beirat einholen.“

Vergl. oben S. 239 und „Kleinere Schriften und Briefe“, XII.

15. Trotz der Einwände, welche *Mayer* von verschiedenen Seiten gegen seine Ansicht über die Verwendung des Wortes „Kraft“ hören musste, verteidigte er dieselbe noch 1864 in Briefen an *Reuschle* und *Mohr* und hatte auch 1874 anlässlich der zweiten Ausgabe der „Mechanik der Wärme“ nichts beizufügen. Er zweifelte nicht, dass die mechanische Wärmetheorie (besonders mit Rücksicht auf die Bedürfnisse der Biologie) seine Terminologie usuell machen werde und schloss an *Mohr*: „Igitur ceterum censeo: ich halte es für zweckmässig, nie den Druck allein, sondern nur das Produkt aus dem Druck in den Wirkungsraum, in specie nicht das Kilogramm, sondern das Meterkilogramm Kraft zu heissen.“

16. Vergl. S. 50 und die dort zugewiesene Anmerkung 6 des Herausgebers.

17. Nach Anmerkung 15 zu Aufsatz III lautet die auf S. 264 gegebene Formel für beliebige Masseinheiten

$$A c^2 + B c'^2 = 2 k A B \frac{h - h'}{h h'},$$

worin k konstant. Hieraus folgt für eine unendlich kleine Entfernungsänderung $h' - h = d e$

$$A d c^2 + B d c'^2 = - \frac{2 k}{e^2} A B d e,$$

oder auch, im Zeitelement $d t$,

$$A c \frac{d c}{d t} + B c' \frac{d c'}{d t} = - \frac{k}{e^2} A B \frac{d e}{d t}.$$

Bezeichnet S die anziehende Kraft zwischen A und B, so hat man

$$S = A \frac{d c}{d t} = - B \frac{d c'}{d t},$$

womit aus der darüberstehenden Gleichung

$$(c - c') S = - \frac{k}{e^2} A B \frac{d e}{d t};$$

und wegen

$$(c d t - c' d t) = - d e$$

die *Newton*sche Formel

$$S = k \frac{A B}{e^2}.$$

Diese Ableitung dürfte der von *Mayer* gemeinten Specialisierung entsprechen. Vergl. den Brief an *Baur* vom 30. November 1844, „Kleinere Schriften und Briefe", VI 19.

18. Siehe Anmerkung 18 zu Aufsatz II, S. 131.

19. Vergl. S. 53 und die zugehörige Anmerkung 10, S. 130.

20. Siehe Anmerkung 15 zu Aufsatz II, S. 131.

21. Vergl. S. 61.

22. Siehe über denselben Aufsatz VII 1.

23. Siehe über diese: *Prony*, Annales des physique et de chimie, 1821 XIX, p. 165 und Annales des mines, 1823 VIII, p. 189, oder *Rühlmann*, Allgemeine Maschinenlehre, zweite Auflage, I, Leipzig 1875, S. 236.

24. Comptes rendus, 1846 XXIII, p. 344.

25. Der bis dahin vielfach bestrittene Nutzen des *Watt*schen Dampfmantels wurde in den fünfziger Jahren durch direkte Versuche von *Combes* und *Hirn* festgestellt. Vergl. *Hirn*, Bulletin de la société industrielle de Mülhouse, 1856 Nr. 133, p. 107—112.

26. Siehe S. 247.

27. Siehe Anmerkung 23 zu Aufsatz II, S. 131.

28. Die wichtigsten Aufsätze von *Joule* über den Gegenstand sind vereinigt in der Schrift „Das mechanische Wärmeäquivalent. Gesammelte Abhandlungen von *James Prescott Joule*. Ins Deutsche übersetzt von *J. W. Sprengel*. Braunschweig 1872".

29. Vergl. „Kleinere Schriften und Briefe", X 3, 4.

30. Es handelt sich um den wichtigen Aufsatz „On the mechanical equivalent of heat", Philosophical Transactions 1850 p. 61, welcher über die abschliessenden, umfassendsten Versuche *Joules* zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents berichtete. *Joule* erhielt in fünf Versuchsreihen die unten in der ersten Kolumne angesetzten Mittelwerte. Durch Multiplikation mit 0,548 630 ergeben sich daraus die

in der zweiten Kolumne beigesetzten Zahlen für die üblichen Masseinheiten.

Bei Reibung von	für Grad *Fahrenheit* in Fusspfund	für Grad *Celsius* in Meterkilogramm
Wasser	772,692	423,922
Quecksilber	772,814	423,989
Quecksilber	775,352	425,381
Gusseisen	776,045	425,762
Gusseisen	773,930	424,601
Das Gesamtmittel hieraus ist		
	774,165	424,731.

Indessen schloss *Joule* seinen vom 4. Juni 1849 datierten Aufsatz wie folgt:

„Meiner Ansicht nach ist 772,692, das Aequivalent, welches sich aus der Reibung von Wasser ergab, das korrekteste, sowohl wegen der Zahl der Versuche, als auch wegen der grossen Wärmekapazität des Apparates. Und da man selbst bei Flüssigkeiten die Erschütterung und die Erzeugung eines leisen Tones nicht völlig vermeiden konnte, so ist wahrscheinlich die obige Zahl noch etwas zu gross. Ich schliesse daher damit, dass ich durch die in dieser Abhandlung mitgeteilten Versuche als bewiesen betrachte:

1) Dass die durch Reibung von Körpern, seien es nun feste oder flüssige, entwickelte Wärmemenge immer proportional ist der aufgewandten Kraft, und
2) dass zur Entwickelung der Wärmemenge, welche im stande ist, ein Pfund Wasser (im leeren Raum und zwischen 55° und 60° *F.* gewogen) um 1° *Fahrenheit* zu erwärmen, die Aufwendung einer mechanischen Kraft erforderlich ist, welche repräsentiert wird durch den Fall von 772 Pfund durch einen Fuss".

Der letzteren Zahl entspricht für gewöhnliche Einheiten

$$M = 423{,}542.$$

In einer Mitteilung an die Pariser Akademie, Comptes rendus, 1855 XXXX, p. 310 bestätigte *Joule* dies Resultat: „Je crois pouvoir établir que la série nombreuse d'expériences sur la friction des fluides que j'ai faites, il y a plusieures années (Philosophical Transactions 1850), m'a permis de fixer la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur d'une manière absolue et indépendamment de toute hypothèse. Ces résultats sont les suivants:

En pieds anglais et degrès *Fahrenheit* . 772,
en pieds anglais et degrès centigrades . 1389,5,
en mètres français et degrès centigrades 423,5."

Später stellte *Joule* noch einmal Versuche über die Wärmeentwickelung bei Reibung von Wasser an, welche das mechanische Wärme-

äquivalent für englische Einheiten gleich 772,55 ergaben, d. h. für gewöhnliche Einheiten

$$M = 423{,}844.$$

Vergl. *Wiedemanns* Annalen, Beiblätter, 1878 S. 248, Näheres Proceedings of the Royal Society, 1878 XXVII, p. 38.

Die Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalents nach *Mayer* hat man später meist auf Grund einer Formel vorgenommen. Wird ein Kilogramm atmosphärische Luft oder ein andres möglichst beständiges Gas das eine Mal bei konstantem Drucke, das andre Mal bei konstantem Volumen von 0 auf 1^0 C. erwärmt, so brauchen wir erfahrungsgemäss im ersten Falle eine Wärmemenge c_p, im zweiten eine andre Wärmemenge c_v. Im ersten Falle hat das Volumen eine Aenderung erfahren, wobei der äussere Druck auf gewissen Wegen überwunden werden musste. Da nun nach Versuchen von *Gay-Lussac* die Gruppierungsänderung der Gasteilchen an sich keine Energie erfordert (vergl. S. 53), so kann die Differenz $c_p - c_v$ nur zur Leistung der mit der Volumenänderung verbundenen äusseren Arbeit gedient haben. Ist p der Druck per Quadrateinheit, erfolgt die Volumenänderung von v_0 bis $v_0 + \alpha v_0$ (wobei man sich der Einfachheit halber das Gas als eine prismatische Säule von 1 Quadrateinheit Querschnitt denken kann, deren Höhe durch die Volumenänderung um αv_0 zunimmt), so besteht die Gleichung

$$M(c_p - c_v) = P \alpha v_0,$$

woraus, wenn $\gamma_0 = \frac{1}{v_0}$ das Gewicht der Kubikeinheit Gas beim Drucke p und der Temperatur 0^0 C. bedeutet, das mechanische Wärmeäquivalent

$$M = \frac{\alpha p}{(c_p - c_v)\,\gamma_0}. \qquad 1)$$

Setzt man hierin für eine Atmosphäre Druck

		mit *Mayer* (1842)	mit *Holtzmann* (1845)	mit *Person* (1854)	wie jetzt üblich
p	=	10330	10333	10334	10333
γ_0	=	1,3	1,299	1,293	1,29318
α	=	$\frac{1}{274}$	0,003668	0,00367	$\frac{1}{273}$
c_p	=	0,267	0,267	0,2377	0,23751
$\left[\frac{c_p}{c_v}\right.$	=	1,421	1,415	$c_p\left(\frac{333}{279}\right)^2$	$1{,}41\left.\right]$
c_v	=	$\frac{0{,}267}{1{,}421}$	0,189	0,1686	0,16844

so ergibt sich

M = 366,612 374,069 424,481 423,756

wofür rund angenommen wurde

M = 365 374 424 424.

In seinem zweiten Aufsatze nahm *Mayer* der Rechnung mehr entsprechend 367 an. Die Berechnung von *Holtzmann* findet sich in dessen „Wärme und Elastizität der Gase und Dämpfe“, Mannheim 1845, S. 12, diejenige von *Person* in den Comptes rendus, 1854 XXXIX, p. 1131. Wählt man in der letzten Kolumne den Ausdehnungskoeffizienten, wie vielfach geschieht, $\alpha = 0{,}003665$, anstatt $\frac{1}{273}$, so folgt

$$M = 424{,}025.$$

Wird in der *Mayer*schen Beziehung 1), entsprechend der *Carnot*schen Form des *Boyle-Gay-Lussac*schen Gesetzes,

$$p\,v = R\left(\frac{1}{\alpha} + t\right),$$

für die Temperatur $t = 0$ verwendet

$$p\,v_0 = \frac{p}{\gamma_0} = \frac{R}{\alpha},$$

so entsteht die bekannte Gleichung der mechanischen Wärmetheorie

$$M = \frac{R\,.}{c_p - c_v}, \qquad 2)$$

Dieselbe liefert mit den nach *Regnaults* Versuchen für atmosphärische Luft gebräuchlichen Werten $R = 29{,}269$, $c_p = 0{,}23751$, $c_v = 0{,}16844$

$$M = 423{,}758.$$

31. Vergl. S. 53 und die zugewiesene Anmerkung 11, S. 130.

32. Siehe oben S. 246.

33. Bezeichnen M das mechanische Wärmeäquivalent, g die Acceleration des freien Falls, und für den betrachteten kosmischen Körper m die Masse, c_1 die anfängliche, c die schliessliche Geschwindigkeit und W die per Gewichtseinheit erzeugte Wärmemenge, so hat man

$$\frac{m\,{c_1}^2}{2} - \frac{m\,c^2}{2} = m\,g\,M\,W,$$

woraus

$$W = \frac{{c_1}^2 - c^2}{2\,g\,M},$$

und für $c_1 = 4 \cdot 7420{,}44$ Meter, $c = 3 \cdot 7420{,}44$ Meter, wenn mit *Mayer* $g = 9{,}8164$ Meter, $M = 425$ gesetzt werden,

$$W = 46\,202 \text{ Kalorien.}$$

34. Vergl. oben unter von III 9, S. 198.

35. Vergl. die Mitteilung an die Pariser Akademie von 1846 und den Artikel „Ueber temporäre Fixsterne“ in „Kleinere Schriften und Briefe“, X 1 und IX 4.

36. Anhang A.

Wie man mittelst der *Mayer*schen Erfahrungssätze ohne weitere Annahmen aus den Grundgleichungen der Mechanik zu den allgemein-

sten Gleichungen der Energie gelangt, möge im folgenden gezeigt werden. Als materielles System bezeichnen wir dabei eine beliebige Zusammenfassung von Teilen der Materie, welche als Ganzes, ausschliesslich andrer, der Betrachtung unterworfen werden. Zwischen den (getrennten oder beliebig verbundenen) Teilen des Systems können Kräfte wirken, sie heissen innere Kräfte. Es können aber auch Kräfte zwischen Teilen des Systems und nicht zum letzteren gehörigen Ausgangspunkten wirken; diese werden äussere Kräfte genannt.

a) **Satz von den lebendigen Kräften.** Ein Körper oder ein beliebiges materielles System bewege sich hinsichtlich eines beliebig bewegten Koordinatensystems. Wir denken uns das materielle System soweit in Massenelemente zerlegt, als sich deren Bewegung erkennen und ohne weitere Annahme durch die Gesetze der reinen Mechanik verfolgen lässt (Wärmebewegung wie überhaupt Molekularbewegungen unberücksichtigt). Die entsprechenden Geschwindigkeiten und resultierenden Kraftkomponenten in den zu einander rechtwinkligen Koordinatenrichtungen x, y, z seien für ein Element der Masse m durch u, v, w und X, Y, Z bezeichnet. Dann liefern die Grundgleichungen der Mechanik zwischen Kräften und Beschleunigungen

$$m\frac{du}{dt} = X, \qquad m\frac{dv}{dt} = Y, \qquad m\frac{dw}{dt} = Z.$$

Multipliziert man diese Gleichungen mit den Wegen des Massenelements m im Zeitelement dt

$$u.dt = dx, \qquad vdt = dy, \qquad wdt = dz,$$

und addiert, so folgt

$$m(u\,du + v\,dv + w\,dw) = X\,dx + Y\,dy + Z\,dz.$$

Durch Addition der entsprechenden Gleichungen aller Massenelemente erhält man, wenn

$$L = \Sigma m\,\frac{u^2 + v^2 + w^2}{2} = \Sigma\,\frac{mW^2}{2} \qquad 1)$$

die lebendige Kraft des materiellen Systems in Hinsicht unsres Koordinatensystems bedeutet,

$$dL = \Sigma\,(X\,dx + Y\,dy + Z\,dz), \qquad 2)$$

und die Aenderung der lebendigen Kraft für ein von t_0 bis t reichendes Zeitintervall

$$L - L_0 = \int_{t_0}^{t} \Sigma\,(X\,dx + Y\,dy + Z\,dz). \qquad 3)$$

Auf Grund dieser Gleichung lautet der Satz von den lebendigen Kräften: Die Gesamtänderung der lebendigen Kraft eines beliebigen materiellen Systems während irgend eines Zeitintervalls ist gleich der Summe der Arbeiten aller (äusseren und inneren) Kräfte, welche innerhalb jener Zeit an den Teilen des Systems gewirkt haben.

b) **Grundgleichung der Energie.** Gleichung 2) lässt sich schreiben

$$dL = \sum_i (X dx + Y dy + Z dz) + \sum_a (X dx + Y dy + Z dz),$$

worin $\sum_i$ alle inneren Kräfte, $\sum_a$ alle äusseren Kräfte des Systems umfasst. Werden nun dem System ausser der Arbeit äusserer Kräfte,

$$dK = \sum_a (X dx + Y dy + Z dz) = - dO, \qquad 4)$$

unter beliebigen sonstigen Formen (z. B. als lebendige Kraft, Wärme, elektrische Energie) noch in Summa $M dQ$ Arbeitseinheiten oder dQ Wärmeeinheiten von aussen zugeführt und gesetzt

$$dU = M dQ - \sum_i (X dx + Y dy + Z dz), \qquad 5)$$

dann liefert die vorletzte Gleichung

$$dL = M dQ - dU + dK,$$

oder auch

$$dL + dU = dK + M dQ = dE. \qquad 6)$$

Nach 5) bedeutet $dU - M dQ$ die Arbeit zur Ueberwindung der inneren Kräfte, während dU nach 6) denjenigen Teil der ganzen von aussen zugeführten Energie $dK + M dQ$ darstellt, welcher nicht in die lebendige Kraft dL verwandelt wurde.

Soll nun die Energie unzerstörbar sein, so müssen sich alle nacheinander auftretenden dU in irgend einer Form im Systeme ansammeln, es muss dem letzteren, wie ein gewisses L, auch ein gewisses U entsprechen, so dass erst $L + U = E$ die ganze Arbeitsfähigkeit oder Energie des Systems hinsichtlich unsers Koordinatensystems bedeutet. L pflegt man auch als aktuelle Energie, U in gewissen Fällen (wenn es nur von den Koordinaten der Systempunkte abhängt; vergl. S. 288) als potentielle Energie zu bezeichnen, während es im allgemeinen virtuelle Energie heissen mag. Mit Rücksicht auf 4) und wenn $J = 1 : M$ eingeführt wird ($M = 424$ nach *Mayer*, $J = \frac{1}{424}$ nach *Joule*) lässt sich anstatt 6) auch schreiben

$$dQ = J(dU + dO + dL) = J(dE + dO), \qquad 7)$$

worin dO die Arbeit zur Ueberwindung der äusseren Kräfte. Gleichung 6) oder 7) ist als Grundgleichung der Energie zu bezeichnen.

Aus 6) folgt für ein beliebiges Zeitintervall von t_0 bis t

$$L - L_0 + U - U_0 = K + MQ = E - E_0,$$

und hiernach die Gesamtenergie zur Zeit t

$$E = L + U = L_0 + U_0 + K + MQ = E_0 + K + MQ.$$

Ist $K + MQ = 0$, dann ist die Gesamtenergie schliesslich wie zu Anfang

$$E = L + U = L_0 + U_0 = E_0,$$

und soll umgekehrt $E = E_0$ sein, dann folgt auch $K + MQ = 0$, es ist von aussen im ganzen weder Energie zu- noch abgeführt worden.

Sind zur Zeit t Beschleunigungen der Massenelemente hinsichtlich

des gewählten Koordinatensystems nicht zu berücksichtigen, dann folgt aus 7) mit $dL = 0$

$$dQ = J(dU + dO),$$

und wenn unser materielles System ein Körper vom Volumen V ist, auf dessen Oberfläche ein überall gleichmässig verteilter Normaldruck von p per Quadrateinheit wirkt, während weitere äussere Kräfte nicht in Betracht kommen, mit dem leicht zu ermittelnden Werte $dO = p\,dV$

$$dQ = J(dU + p\,dV),$$

eine bekannte Hauptgleichung der mechanischen Wärmetheorie. In der letzteren wird vielfach U als Energie schlechtweg und O als äussere Arbeit bezeichnet.

c) **Integrierende Funktion.** Es seien a, b, c, . . diejenigen Grössen, welche als Unabhängigvariable die Energie

$$E = L + U = F(a, b, c, \ldots) \qquad 8)$$

bestimmen (für den gewöhnlich angenommenen Fall $L = 0$ ist $E = U$). Dann hat man nach 6)

$$dE = \frac{\partial E}{\partial a}da + \frac{\partial E}{\partial b}db + \ldots = dK + M\,dQ. \qquad 9)$$

Lässt sich nun auch die Arbeit dK durch die Grössen a, b, c, . . und ihre Differentiale ausdrücken, oder rechnet man die im Ausdrucke von dK auftretenden Variabeln mit zu den a, b, c, . ., womit an der Allgemeinheit nichts geändert wird, dann hat man zufolge 9)

$$M\,dQ = A\,da + B\,db + C\,dc + \ldots, \qquad 10)$$

unter A, B, C, . . Funktionen von a, b, c, . . verstanden. Während aber 9) ein vollständiges Differential darstellt und also bei unabhängig variabeln a, b, c, . . ohne weitere Beziehungen integrierbar ist, braucht dies für den Ausdruck 10) nicht der Fall zu sein. Wir können jedoch durch Multiplikation von 10) mit einem integrierenden Faktor $1 : T$, wobei

$$T = f(a, b, c, \ldots), \qquad 11)$$

ein vollständiges Differential

$$dP = \frac{dQ}{JT} = \frac{A}{T}da + \frac{B}{T}db + \ldots \qquad 12)$$

erreichen. Alsdann ist wie E und T auch

$$P = \varphi(a, b, c, \ldots) \qquad 13)$$

nur von den augenblicklichen Werten von a, b, c, . . abhängig, nicht davon wie das System in den Zustand a, b, c, . . gelangt ist. Hat diese Funktion zu Anfang irgendwelcher Zustandsänderungen den Wert P_0, dann ist zu Ende derselben

$$P = P_0 + \int_{t_0}^{t} \frac{dQ}{JT}, \qquad 14)$$

und bestehen am Schlusse die gleichen a, b, c, . . wie zu Anfang, dann ist für den durchlaufenen Kreisprozess mit $P = P_0$

$$\int_{t_0}^{t} \frac{dQ}{JT} = 0 \qquad 15)$$

In der mechanischen Wärmetheorie zieht man als Energie dQ (welche neben der Arbeit dK äusserer Kräfte zugeführt oder entzogen wird) gewöhnlich nur Wärme in Betracht und nimmt auf Grund erfahrungsmässig bestätigter Hypothesen an, dass für sogenannte umkehrbare Zustandsänderungen T die absolute Temperatur ist. In diesen Fällen stimmt P mit der *Clausius*schen Entropie überein (*Clausius*' Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie, II, Braunschweig 1867, S. 34, 44), während für andere Fälle Ermittelungen bis jetzt nicht angestellt sind.

d) **Zerstreuung der Energie.** Wir denken uns ein materielles System, welchem weder Arbeit dK äusserer Kräfte noch sonstige Energie $M\,dQ$ von aussen zugeführt oder entzogen wird. Dann folgt aus 6)

$$dL + dU = 0.$$

Die Zunahme der virtuellen Energie U ist gleich der Abnahme der aktuellen Energie L, und umgekehrt.

Wir haben diesen Specialfall z. B. für das grösste materielle System, die Materie des Weltalls. Da nun durch Reibung, Stoss u. s. w. fortwährend aktuelle Energie in virtuelle Energie (insbesondere in Wärme) übergeht, ohne dass entgegengesetzte Umwandlungen in entsprechendem Masse aufzutreten scheinen (der zweite Hauptsatz der Wärmetheorie, welcher gewöhnlich zum Beweise herangezogen wird, lässt nur unter gewissen Voraussetzungen darauf schliessen), so kann man zu der Vermutung kommen, dass die Welt einem Ziele entgegenstrebt, bei welchem alle umwandelbare aktuelle Energie aufgebraucht und in virtuelle Energie übergeführt ist.

Eine solche Zielläufigkeit der Welt hat in speciellerer Form zuerst *William Thomson* angenommen (On a universal tendency in Nature to the dissipation of mechanical energy, Philosophical Magazine 1852 IV, p. 304), indem er unter Berücksichtigung des überall beobachteten Strebens nach Temperaturausgleichung annehmen zu dürfen glaubte, dass die schliesslich verbleibende virtuelle Energie lediglich Wärme von gleicher Temperatur sei. Eine genügende Begründung für eine allgemeine oder die *Thomson*sche specielle Zielläufigkeit der Welt ist bis jetzt nicht vorhanden.

Vergleiche über die vorstehenden Ableitungen: *Weyrauch*, Das Prinzip von der Erhaltung der Energie seit *Robert Mayer*, Leipzig 1885; Derselbe, Theorie elastischer Körper, Leipzig 1884, S. 110—15. Weitere Specialisierungen, insbesondere auch zu den Hauptgleichungen

der Wärmetheorie siehe: *Weyrauch*, Aufgaben zur Theorie elastischer Körper, Leipzig 1885, Aufgaben 40—42, 67, 103.

37. Anhang B.

Das Prinzip von der Erhaltung der Energie, wie es *Mayer* gab, behauptet die Gleichheit von Ursache und Wirkung *(Causa aequat effectum)*, wenn beide als Arbeitsäquivalente aufgefasst werden. Wie die Materie, so soll auch die Energie zwar verschiedene Formen annehmen können, quantitativ aber immer dieselbe bleiben. Die Aenderung der Energie oder Arbeitsfähigkeit eines materiellen Systems (vergl. Eingang zu Anhang A, S. 283) kann hiernach nur durch entsprechende Aufnahme von aussen oder Abgabe nach aussen bedingt sein, und da es für das Universum kein aussen gibt, so folgt: Die Energie der Welt ist konstant.

Man konnte sich nun fragen, ob nicht unter Umständen die Konstanz der Energie als notwendige Folge rein mechanischer Gesetze, ohne Zulassung andrer als der hierdurch bedingten Formen von Energie (also ohne die im Anhang A eingeführte Energie MQ) darstellbar sei. Es ist ein Verdienst von *Helmholtz*, zuerst in dieser Richtung mathematischer Formulierung vorgegangen zu sein (*Helmholtz*, Ueber die Erhaltung der Kraft, Berlin 1847, S. 10—20; auch in dessen Wissenschaftlichen Abhandlungen I, Leipzig 1882, S. 12—75). Seitdem hat sich das Bedürfnis herausgestellt, den Gegenstand allgemeiner zu behandeln, wie dies im folgenden gezeigt werden soll.

a) **Erhaltung der Energie.** Ein beliebiges System von freien oder irgendwie verbundenen Massenpunkten m (x, y, z) bewege sich hinsichtlich eines beliebig bewegten Koordinatensystems derart, dass die lebendige Kraft und Energie des Systems nur durch Kräfte (äussere und innere) an jenen Massenpunkten geändert wird. Dann gelten die Gleichungen 1) bis 3) des Anhangs A, auf Grund deren S. 283 der Satz von den lebendigen Kräften ausgesprochen wurde.

Existiert nun eine Funktion beliebiger Grössen (z. B. von Entfernungen, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen der Massenpunkte), deren vollständiges Differential dU sich ausdrücken lässt,

$$dU = -\Sigma (X dx + Y dy + Z dz), \qquad 1)$$

dann liefert die erwähnte Gleichung 3)

$$L - L_0 = U_0 - U,$$

oder auch

$$L + U = L_0 + U_0 = C. \qquad 2)$$

Die Konstante C besteht aus zwei Teilen, aus der augenblicklichen, lebendigen Kraft oder aktuellen Energie L und der bei Ausnutzung aller dem Systeme zur Verfügung stehenden Arbeitsfähigkeit noch erreichbaren lebendigen Kraft U.

Die Energie eines materiellen Systems zu irgend einer Zeit ist diejenige Arbeitsfähigkeit, welche augenblicklich beim Erlöschen aller äusseren Energiequellen im System zu finden wäre. Es ist also C im allgemeinen nicht die Energie unsres Systems allein, wohl aber dann, wenn keine äusseren Energiequellen vorhanden sind. Bezeichnen wir die neben der aktuellen Energie im Systeme vorhandene Arbeitsfähigkeit auch hier im allgemeinen als virtuelle Energie, so lässt sich auf Grund von 2) aussprechen: Wenn ein beliebiges System von Massenpunkten $m\,(x, y, z)$ nur unter der Einwirkung innerer Kräfte an jenen Punkten x, y, z steht, und die Arbeit dieser Kräfte in jedem Zeitelement das vollständige Differential einer Funktion beliebiger Grössen darstellt, dann ist der Gewinn oder Verlust an aktueller Energie stets gleich dem Verluste oder Gewinne an virtueller Energie, die Gesamtenergie des Systems bleibt konstant.

b) **Erhaltung der lebendigen Kraft.** Nach 2) hat man bei Zulassung innerer und äusserer Kräfte für die lebendige Kraft des Systems

$$dL = -dU, \qquad L = C - U. \tag{3}$$

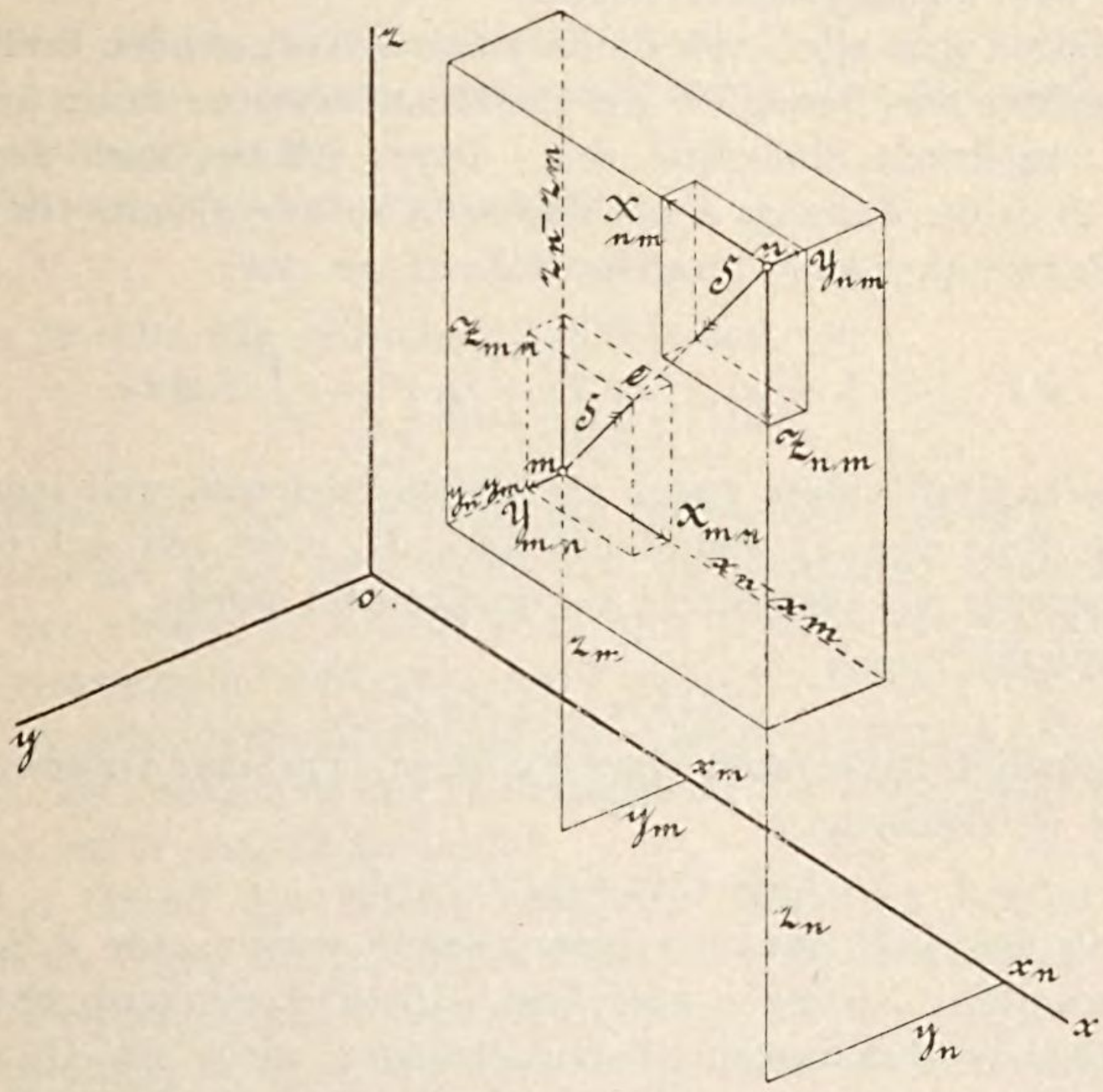
Ist dU speciell das vollständige Differential einer Funktion der Koordinaten von Systempunkten allein, welche das Potential der auf L Einfluss nehmenden Kräfte heisst, wonach wir alsdann U mit *Rankine* als potentielle Energie bezeichnen, so ist nach 3) auch L nur von jenen Koordinaten abhängig. Gleichung 3) aber drückt nun das Prinzip von der Erhaltung der lebendigen Kraft aus: „Wenn ein beliebiges System von Massenpunkten $m\,(x, y, z)$ nur unter der Einwirkung solcher äusserer und innerer Kräfte an den Punkten x, y, z steht, deren Arbeit in jedem Zeitelement das vollständige Differential einer Funktion der Koordinaten von Systempunkten bildet, dann ist die lebendige Kraft des Systems zu allen Zeiten dieselbe, in welchen jene Systempunkte dieselben Lagen gegen das Koordinatensystem haben, wie auch die Bahnen und Geschwindigkeiten aller Punkte in der Zwischenzeit gewesen sein mögen.

Wir sehen also, dass wenn nur innere Kräfte wirken, wie dies z. B. für das Universum gilt, das Prinzip von der Erhaltung der lebendigen Kraft an speciellere Voraussetzungen als der obige Satz von der Erhaltung der Energie gebunden ist. Die Erhaltung der Energie kann dann auch ohne Erhaltung der lebendigen Kraft bestehen, während das Umgekehrte nicht zutrifft.

c) **Kräfte in den Verbindungsgeraden.** Wir setzen nun voraus: 1. dass die Kräfte zwischen je zwei Punkten in den Ver-

bindungsgeraden wirken, 2. dass Aktion und Reaktion zwischen je zweien derselben numerisch gleich sind, 3. dass die Wechselwirkung zweier Punkte durch andre gleichzeitige Wirkungen nicht geändert wird. Bezeichnet dann e die Entfernung der Punkte m, n und S die Wechselwirkung zwischen denselben, werden ferner anziehende S als positiv, abstossende als negativ eingeführt, dann sind die Komponenten in den Richtungen x, y, z

Fig. 1.



für die Einwirkung

von n auf m:

$$X_{mn} = S\frac{x_n - x_m}{e},$$

$$Y_{mn} = S\frac{y_n - y_m}{e},$$

$$Z_{mn} = S\frac{z_n - z_m}{e},$$

von m auf n:

$$X_{nm} = -S\frac{x_n - x_m}{e},$$

$$Y_{nm} = -S\frac{y_n - y_m}{e},$$

$$Z_{nm} = -S\frac{z_n - z_m}{e}.$$

Multipliziert man die Gleichungen links der Reihe nach mit dx_m, dy_m, dz_m, diejenigen rechts mit dx_n, dy_n, dz_n, und addiert dann alle 6 Gleichungen, so folgt

$$(X_{mn}\,dx_m + Y_{mn}\,dy_m + Z_{mn}\,dz_m) + (X_{nm}\,dx_n + Y_{nm}\,dy_n + Z_{nm}\,dz_n)$$

$$= \frac{S}{e}\Big[(x_n - x_m)(dx_n - dx_m) + (y_n - y_m)(dy_n - dy_m) +$$

$$(z_n - z_m)(dz_n - dz_m)\Big] = -S\,de,$$

der zweite Ausdruck mit Rücksicht auf

$$e^2 = (x_n - x_m)^2 + (y_n - y_m)^2 + (z_n - z_m)^2. \qquad 4)$$

Für Kräfte in den Verbindungsgeraden beliebiger Punkte, die man allgemein als Radialkräfte oder Stabkräfte bezeichnen kann, hat man also

$$\Sigma (X dx + Y dy + Z dz) = - \Sigma S de, \qquad 5)$$

worin sich die Summe links auf sämtliche Punkte, diejenige rechts auf ihre Verbindungsgeraden bezieht.

Es mögen nun alle unser Punktsystem beeinflussenden Kräfte von Systempunkten oder bezüglich des Koordinatensystems festen äusseren Centren ausgehende Stabkräfte sein. Dann drücken nach den Gleichungen 2) 3) des Anhangs A mit Rücksicht auf vorstehende Gleichung 5) den Satz von den lebendigen Kräften aus:

$$dL = - \Sigma S de, \qquad L - L_0 = - \int_t^{t_0} \Sigma S de. \qquad 6)$$

Die äusseren Kraftcentren waren als fest anzunehmen, weil sich sonst die linke Seite von 5) und damit auch dL nicht nur auf Systempunkte bezieht, wie dies für 2) 3) vorausgesetzt wurde.

Ist speciell

$$dU = - \Sigma S de \qquad 7)$$

das vollständige Differential einer Funktion beliebiger Grössen, dann folgt aus 7) Gleichung 2):

$$L + U = C = L_0 + U_0, \qquad 8)$$

welche für den Fall, dass nur innere Kräfte wirken, wie S. 288, die Erhaltung der Energie ausdrückt. Diese ist also auch unter den angeführten beschränkenden Voraussetzungen nicht an Centralkräfte gebunden, worunter man speciell solche Kräfte in den Verbindungsgeraden (das heisst solche Stabkräfte) versteht, deren Intensität S nur von der Entfernung e abhängt.

Ist in 8) U nur von den Koordinaten der Systempunkte abhängig dann gilt das gleiche für L, es tritt das Prinzip von der Erhaltung der lebendigen Kraft ein. Diesen Fall haben wir zufolge 7) 4) für Centralkräfte (die äusseren Kraftcentren wurden als fest vorausgesetzt).

d) **Beispiele zu c.** Das *Weber*sche Gesetz,

$$S = \frac{k m n}{e^2} \left[1 - \frac{1}{c} \left(\frac{de}{dt} \right)^2 + \frac{2e}{c} \frac{d^2 e}{dt^2} \right], \qquad 9)$$

welches *Wilhelm Weber* 1846 für die Wechselwirkung zweier Elektrizitätsteilchen annahm, lässt sich schreiben

$$S = \frac{k m n}{e^2} \left[1 + \frac{e^2}{c\, de} d \frac{\left(\frac{de}{dt} \right)^2}{e} \right], \qquad 10)$$

worin neben den Massen m, n auch k, c Konstante sind. Hiernach ist $S\,d\,e$ das vollständige Differential von

$$\int S\,d\,e = -\frac{k\,m\,n}{e}\left[1 - \frac{1}{c}\left(\frac{d\,e}{d\,t}\right)^2\right] + \text{Konst.}, \qquad 11)$$

es wird für lauter Stabkräfte von Gesetzen 9) auch 7) ein vollständiges Differential, das Prinzip von der Erhaltung der Energie ist für den Fall, dass nur innere Kräfte des *Weber*schen Gesetzes wirken, erfüllt, und zwar hängen dann zufolge 7) 8) mit 11) L, U nur von den Entfernungen und relativen Geschwindigkeiten der aufeinander wirkenden Systempunkte ab.

Nehmen wir ferner Centralkräfte

$$S = f(e) \qquad 12)$$

an, so ist $S\,d\,e$ das vollständige Differential von

$$\int S\,d\,e = \int f(e)\,d\,e, \qquad 13)$$

es wird wieder 7) ein vollständiges Differential und tritt für innere Centralkräfte allein das Prinzip von der Erhaltung der Energie ein. Weil nun aber in 8) zufolge 7) 13) mit 4) U nur von den Koordinaten der Systempunkte abhängt, so gilt auch das Prinzip von der Erhaltung der lebendigen Kraft, mit der Massgabe, dass L, U nach 7) 8) mit 13) als Funktionen der Entfernungen e der aufeinander wirkenden Punkte allein darstellbar sind.

Auf Grund der zuletzt erhaltenen Resultate können wir aussprechen: Wenn ein beliebiges System von Massenpunkten nur unter der Einwirkung von Centralkräften steht, welche von Systempunkten oder bezüglich deren anfänglicher Gruppierung festen äusseren Punkten ausgehen, dann sind die aktuelle Energie L des Systems und die potentielle Energie U zu allen Zeiten dieselben, in welchen alle wirkenden Punkte dieselben relativen Lagen gegeneinander haben. (Erhaltung der lebendigen Kraft). In jedem Zeitintervall ist der Gewinn an aktueller Energie gleich dem Verluste an potentieller Energie, die Summe beider bleibt konstant gleich C. Sind nur innere Kräfte wirksam, dann ist die potentielle Energie gleich der virtuellen und die Gesamtenergie des Systems konstant gleich C (Erhaltung der Energie).

e) **Einfachster Fall.** Ein Massenpunkt m bewege sich unter der anziehenden Wirkung eines kugelförmigen Körpers vom Radius r. Hat m in der Entfernung e die Geschwindigkeit v erlangt, dann ist seine aktuelle Energie

$$L = \frac{m\,v^2}{2},$$

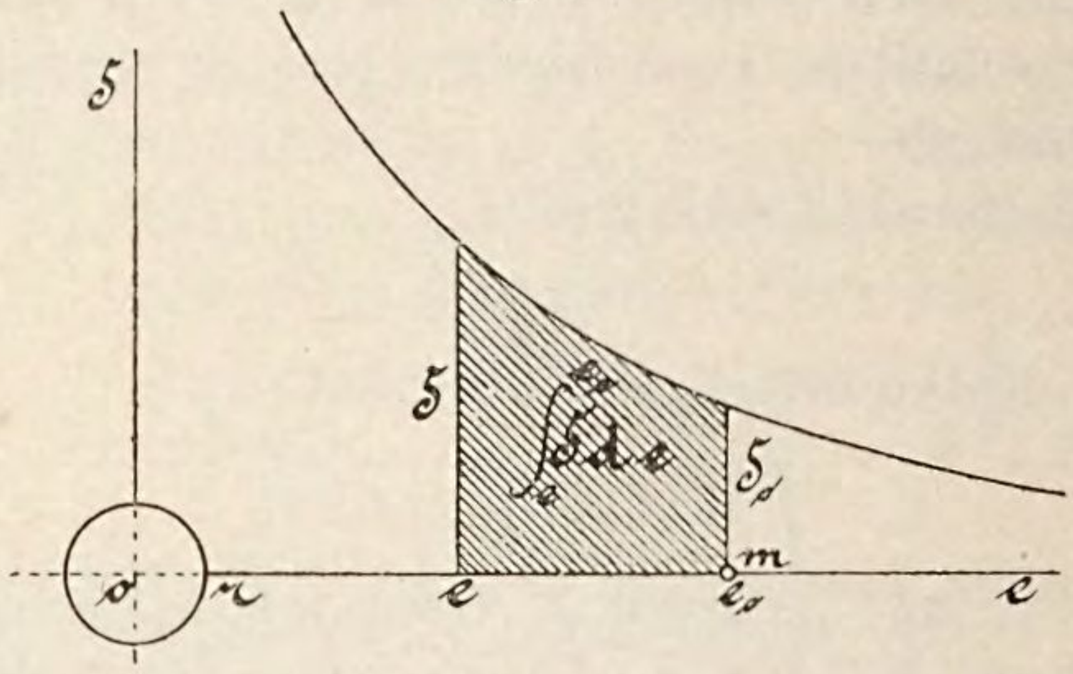
und die noch vorhandene potentielle Energie

$$U = \int_r^e S\,de.$$

Während der Bewegung bleibt nach 8) konstant

$$L + U = C = \frac{m v^2}{2} + \int_r^e S\,de. \qquad 14)$$

Fig. 2.



Beispielsweise hatten wir in der Entfernung e_0

$$L_0 + U_0 = C = \frac{m v_0^2}{2} + \int_r^{e_0} S\,de.$$

Durch Subtraktion der Gleichung 14) hiervon folgt

$$\frac{m v^2}{2} = \frac{m v_0^2}{2} + \int_e^{e_0} S\,de. \qquad 15)$$

Ist beispielsweise dem *Newton*schen Gesetze entsprechend

$$S = m f = m g \frac{r^2}{e^2}, \qquad 16)$$

unter $f = g$ die Acceleration für $e = r$ verstanden, dann folgt mit

$$\int_e^{e_0} S\,de = m g r^2 \left(\frac{1}{e} - \frac{1}{e_0}\right)$$

aus Gleichung 15)

$$v^2 = v_0^2 + 2 g r^2 \frac{e_0 - e}{e\,e_0}, \qquad 17)$$

welche Formel für $v_0 = 0$, $e_0 = h$, $e = h'$ mit den in Anmerkung 15 zu Aufsatz III (S. 219) direkt abgeleiteten *Mayer*schen Gleichungen 9) 11) übereinstimmt.

Im vorliegenden Falle ist die Konstante C nur dann die „Energie des Systems“ (Arbeitsfähigkeit desselben, vergleiche Anhang A), wenn unter Ausschluss von andern Energieformen beide Körper zusammen

als System gelten. Man hat dann die aktuelle, virtuelle und Gesamtenergie des Systems:

$$L, \qquad U, \qquad L + U = C,$$

während jene Grössen für m als System für sich sind:

$$L, \qquad 0, \qquad L.$$

Die Auflösbarkeit aller Naturkräfte in Centralkräfte hat im Jahre 1847 *Helmholtz* angenommen (vergl. oben S. 227). Der wichtigste Fall von Centralkräften ist die *Newton*sche Gravitation, an deren Stelle Einzelne Stabkräfte des *Weber*schen Gesetzes setzen wollten. Stabkräfte hat auch der Herausgeber angewandt, um den Einfluss der Temperatur auf die Elastizitätsverhältnisse fester Körper darzustellen. Die von *Riemann* und *Clausius* angenommenen elektrodynamischen Grundgesetze entsprechen weder Centralkräften noch überhaupt Stabkräften. *Riemann* gestattete den Kräften aus der Verbindungsgeraden zu treten und *Clausius* verlangte auch die Gleichheit von Aktion und Reaktion nicht mehr. Trotzdem liessen sich auch diese Kräfte mit der Erhaltung der Energie in Einklang bringen, sie fallen unter die obige Formulierung a).

Vergl. über die im Anhang B gegebenen Ableitungen: *Weyrauch*, Das Prinzip von der Erhaltung der Energie seit *Robert Mayer*, Leipzig 1885, S. 31 bis 36; Derselbe, Theorie elastischer Körper, Leipzig 1844, S. 175 bis 180, 133; Derselbe, Aufgaben zur Theorie elastischer Körper, Leipzig 1885, Aufgaben 90 bis 93.

28.

Durch die „Bemerkungen über das mechanische Aequivalent der Wärme“ wollte *Mayer* nochmals seine Prioritätsansprüche wahren und das Urteil sachverständiger Kreise über Bedeutung und Tragweite seiner Lehren herausfordern. Er sandte die Broschüre u. a. an die Akademien der Wissenschaften zu München, Paris und Wien, an jede derselben noch eine besondere Mitteilung beifügend [1]), an die Münchener: „Ueber die Bestimmung des Nutzeffekts verschiedener Motore“, an die Pariser: „Sur l'influence des marées sur la rotation de la terre“, an die Wiener: „Bemerkungen über die Bedeutung der Aequivalenz von Wärme und Arbeit für die Physiologie“. Am 17. Juni 1851 schrieb *Mayer* aus Wildbad, wo er die Nachwirkungen seines Sturzes zu vertreiben suchte, an seine Frau: „Ein definitives Urteil will ich ja aber, wenn es auch gegen mich ausfällt; denn wenn ich Unrecht habe, so lasse ich die Wissenschaft für immer Wissenschaft sein.“

Auf die Mitteilung an die Münchener Akademie schrieb der Physiker *Ohm* die Randbemerkung: „Diese Schrift knüpft sich an einen von demselben Verfasser in *Liebigs* Annalen der Chemie und Pharmacie, Band XLII, unter dem Titel „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“ erschienenen Aufsatz und scheint Prioritätsreklamationen hinsichtlich des in neuerer Zeit eingeführten Begriffs vom mechanischen Effekt der Wärme zum Zwecke zu haben, zu deren Unterstützung der Herr Verfasser ganz allgemein gehaltene Betrachtungen in grosser Menge vor-

---

[1]) Dieselben sind in „Kleinere Schriften und Briefe“ unter XIV abgedruckt.

bringt.“ In der Sitzung der Akademie vom 10. Mai 1851 regte der Mineraloge *v. Kobell* an, über dergleichen Einsendungen in den Bulletins der Akademie nicht bloss eine allgemeine Empfangsanzeige, sondern weitere Bemerkungen kundzugeben, doch blieb es bei der allgemeinen Empfangsanzeige, während *Mayer* durch den Klassensekretär gedankt werden sollte. Abgedruckt wurde die Mitteilung nicht.

Die Comptes rendus der Pariser Akademie vom 28. April 1851 brachten die Anzeige, dass *Mayer* ein Werk in deutscher Sprache über die Verwandlung von Wärme in lebendige Kraft eingesandt und eine geschriebene Note über die Gesamtheit seiner Arbeiten beigefügt habe. Da letztere jedoch lediglich den Einfluss der Ebbe und Flut auf die Achsendrehung der Erde behandelte, so bat *Mayer* um Berichtigung, was nicht ganz den gewünschten Erfolg hatte, indem die Berichtigung wieder einen Irrtum enthielt [1]). *Regnault* wurde beauftragt, Kenntnis von der Note zu nehmen und die Akademie wissen zu lassen, ob ein Bericht darüber angezeigt erscheine. Dies scheint der damals mit umfassenden Versuchen (S. 311) beschäftigte Physiker nicht gefunden zu haben, da die Note weder abgedruckt ist, noch ein Bericht darüber bekannt gegeben wurde.

Die Wiener Akademie liess das Schreiben *Mayers* im Bericht über die Sitzung vom 15. Mai 1851 abdrucken. Es beginnt mit Bezug auf das mechanische Aequivalent der Wärme: „Nachdem ich schon früher (Compt. rend. de l'Académie des sciences XXVII, 385 und XXIX, 534)[2]) nachgewiesen, dass diese Verhältniszahl zuerst in Deutschland veröffentlicht worden ist, so enthält nun die beiliegende Schrift einiges Nähere über die Veranlassung, welche zur Auffindung derselben geführt hat.“ Die erfahrungsmässige Richtigkeit der neuen Anschauungen wird mit Hinweis auf den folgenden Aufsatz V an der Herzleistung erläutert.

In der nächsten Sitzung der Akademie schlug der Physiologe *Brücke* als Preisaufgabe vor: „Es sind Versuche anzustellen behufs der genaueren Bestimmung des mechanischen Aequivalents der Wärme. Es ist zu wünschen, dass die Preisbewerber Methoden einschlagen, welche von denen des Herrn *James Prescott*

---

[1]) „Kleinere Schriften und Briefe“, Vorbemerkungen zu X.

[2]) Abgedruckt in „Kleinere Schriften und Briefe“ unter X 3 und 5.

Joule möglichst abweichen, damit die Fehlerquellen, von welchen man sich nicht befreien kann, verändert werden etc.“ In der Begründung heisst es: „Der zu ermittelnde Zahlenwert ist von so hoher Wichtigkeit, dass ihm in dieser Rücksicht unter allen, die je ermittelt sind, ja vielleicht unter allen, die je ermittelt werden, keiner voransteht. Es wird die Zeit kommen, in der es fast kein Kapitel der Physik gibt, in welchem er nicht eine wesentliche Rolle spielt. Nicht minder gross ist seine Tragweite für praktische Zwecke, indem er die Basis bilden wird für den Voranschlag über die Leistungsfähigkeit eines jeden arbeiterzeugenden Systems, indem er uns zugleich die Grenze bezeichnet, über welche hinaus sich unsere Hoffnungen niemals erstrecken dürfen.“

Die Akademie ist auf diesen Antrag nicht eingegangen, er beweist aber, dass in sachverständigen Kreisen die Bedeutung des mechanischen Wärmeäquivalents schon damals nach Gebühr gewürdigt wurde. In der weiteren Begründung des Antrags sind die Arbeiten von *Holtzmann*, *Clausius*, *Joule* berührt, *Mayer* aber blieb unerwähnt. Der Antrag nebst Begründung wurde in ein und demselben Hefte mit der vorausgegangenen Mitteilung *Mayers* veröffentlicht.

29.

Das „Archiv für physiologische Heilkunde“ war 1841 von *Mayers* Studiengenossen, den Tübinger Professoren *Roser* und *Wunderlich*, begründet worden, um die Medizin als empirische und induktive Wissenschaft zu pflegen, es hatte sich von Anfang an der energischen Mitarbeiterschaft *Griesingers* zu erfreuen, welcher 1846 auch die Redaktion übernahm, dieselbe aber 1850 an den damaligen ausserordentlichen Professor der Physiologie an der Universität Tübingen *Karl Vierordt* wieder abgab.

Vierordt hatte bereits mehrere Aufsätze über medizinische Physik im Archiv veröffentlicht und 1849 in einem Aufsatze „Ueber den gegenwärtigen Standpunkt und die Aufgabe der Physiologie“ die Bedeutung der Physik und Chemie für die Physiologie betont, wie insbesondere auch die Verdienste *Liebigs* hervorgehoben, welchem eine höhere einheitliche Betrachtung der verschiedenen Funktionen des tierischen Körpers auf Grund jener Wissenschaften zu verdanken sei.

Im Jahrgang 1850 des Archivs erschien ein Aufsatz des Herausgebers „Ueber die Herzkraft“, in welchem die Arbeitsleistung des Herzens auf Grund der bei jeder Zusammenziehung ausströmenden Blutmenge und des Drucks in den Herzkammern berechnet wurde. Der Artikel schloss: „Ich bin weit entfernt von der Anmassung, meine Aufgabe gelöst haben zu wollen, aber ebenso sicher in der Ueberzeugung, dass die mechanischen Grundsätze, von denen ich ausging, im ganzen richtig sind. Mögen weitere Forschungen das Angedeutete vor allem in seinen Grundsätzen prüfen und berichtigen und den letzteren durch sichere und brauchbare Messungen eine höhere Bedeutung verleihen.“ Der Jahrgang 1851 des Archivs brachte unter dem früheren Titel „Ueber die Herzkraft“ weitere Bemerkungen *Vierordts* zu dem Gegenstand.

Diese Mitteilungen *Vierordts* gaben Veranlassung zu einem kurzen Artikel *Mayers* „Ueber die Herzkraft“, welchen er im Frühjahr 1851 an das Archiv einsandte. Am 15. Mai 1851 schrieb *Vierordt*: „Sie wünschen eine Revision Ihres Herzartikels vorzunehmen. Ich schicke Ihnen denselben, samt einer Bemerkung, die ich als Anhang gemacht habe. Versteht sich, dass diese Bemerkung unter Umständen auch anders gefasst werden wird.“ Da *Vierordt* den Brief auf buchhändlerischem Wege an *Mayer* sandte, so gelangte er erst am 19. Juni in Wildbad in *Mayers* Hände, welcher sofort antwortend auf Irrtümer in *Vierordts* Bemerkungen hinwies und an seine Frau schrieb: „Ich ändere an meinem vor 14 Tagen an ihn geschickten Aufsatz nichts mehr. — Du siehst auch hier, wie widerwärtig die Reklamationen sind.“

Der Artikel kam dann im Jahrgang 1851 S. 512—515 des Archivs mit einigen Fussnoten *Vierordts* zum Abdruck und *Mayer* hat ihn später ohne die letzteren zwar nicht in die erste (1868), wohl aber in die zweite Auflage (1874) der „Mechanik der Wärme“ aufgenommen.

V.

Ueber die Herzkraft.

(Archiv für physiologische Heilkunde, Stuttgart 1851).

Vor sechs Jahren habe ich dem gelehrten Publikum eine Arbeit über die Leistung und den Verbrauch des lebenden Organismus vorgelegt und dabei unter anderem auch die mechanische Arbeit der Herzventrikel numerisch bestimmt angegeben. Es heisst dort (Die organische Bewegung u. s. w. S. 55, Mechanik der Wärme S. 88):

„Noch augenfälliger wird diese arithmetische Deduktion, „wenn man die Leistung eines einzelnen Muskels, die des „Herzens nämlich, in Betracht zieht. Wir setzen mit *Va-* „*lentin* die von dem linken Ventrikel bei jeder Systole be- „förderte Blutmenge im Mittel = 150 Kubikcentimeter, den „hydrostatischen Druck des Blutes in den Arterien nach „*Poiseuille* = dem Drucke einer 16 Centimeter hohen Queck- „silbersäule. Der mechanische Effekt, den der linke Ven- „trikel bei einer Systole liefert, lässt sich hieraus berechnen; „er ist gleich der Hebung einer Quecksilbersäule von einem „Quadratcentimeter Grundfläche auf 150 Centimeter. Das „Gewicht des Quecksilbers beträgt 217 Gramm. Der Effekt „einer Systole, reduziert, ist somit

$$= \left\{ \begin{array}{ll} 325{,}6 \text{ Gramm} & \text{auf 1 Meter} \\ 2 \text{ Pfund} & \text{„ 1 Fuss} \end{array} \right\} \text{„}$$

Die nämliche Berechnung ist auch von *Vierordt* angestellt worden und es stimmen seine Zahlenwerte der Ven-

trikelleistungen mit den meinigen überein. Denn wenn die Blutmenge, statt wie oben = 150, nach *Vierordt* = 120, der Druck auf 1 Quadratcentimeter statt = 217, nach *Vierordt* = 200 gesetzt wird, so erhält man für die Leistung einer Kontraktion des linken Ventrikels statt 0,3256 genau 0,24 Meterkilogramm, welches die von *Vierordt* angegebene Zahl ist*). 1

Den Effekt des rechten Ventrikels habe ich a. a. O. halb so gross als den des linken angenommen, wonach der gemeinschaftliche Effekt beider Ventrikel = 0,49 Meterkilogramm ist, wofür *Vierordt*, welcher das Verhältnis = 18 : 30 angenommen, 0,38 Meterkilogramm gefunden hat. 2

Die von den Kammern gelieferte beträchtliche Menge von lebendiger Kraft wird zur Ueberwindung der Widerstände verbraucht, welche das Blut auf seinem Wege im grossen und kleinen Kreislaufe und zwar vorzugsweise in den Kapillaren findet. Ganz anders verhält es sich dagegen mit den Vorhöfen. Ihre Arbeit hat den Zweck, 1. den während der Kammersystole zum Stillstande gekommenen venösen Blutstrom zur rechten Zeit wieder in raschen Fluss zu bringen, und 2. den Tonus der in der Diastole begriffenen Kammerwandungen zu überwinden und dadurch die vollständige Füllung der Ventrikel zu erzielen. Die hierzu erforderliche Arbeit ist natürlich bedeutend kleiner als die, welche nötig ist, um das Blut durch die Haarröhrchen hindurchzutreiben, und dem entsprechend verhält sich auch (nach *Valentin*) die Muskulatur der Atrien zu der der Ventrikel ungefähr wie 2 : 11. 3

Bemerkenswert ist das Verhältnis, in welchem die Muskulatur der Vorhöfe zu einander steht. Denken wir uns nämlich den Tonus der Ventrikelwandungen hinweg, so hätten die Vorhöfe nur das Blut zu accelerieren und das Verhältnis ihrer Wandungen sollte, da von denselben gleiche Massen in gleichen Zeiten zu befördern sind, sich wie 1 : 1

---

*) Der mittlere Druck des Blutes in dem linken Ventrikel ist nahe genau halb so gross, als der in der Aorta.

stellen. Bestände dagegen die Aufgabe der Vorhöfe nur darin, den Tonus ihrer Antagonisten zu überwinden, so wäre zu erwarten, dass die Vorhofwandungen sich zu einander verhalten würden wie ihre resp. Ventrikelwandungen, also = 1 : 2. Das wirkliche Verhältnis der Vorhofmuskulaturen zu einander liegt aber in der Mitte dieser Zahlen, denn es ist dasselbe (nach *Valentin*) = 2 : 3. —

In meiner oben angeführten Schrift (Die organische Bewegung) habe ich ferner S. 93 den Satz begründet, dass die dauernde Leistungsfähigkeit verschiedener Muskeln der Blutmenge proportional ist, von welcher diese Muskeln in gleichen Zeiten durchsetzt werden. Hiernach hat man, wenn man in den verschiedenen Abteilungen des Herzens die resp. kapillaren Blutmengen der Dicke der Wandungen proportional setzt, die Leistung der Vorhöfe 5 bis 6mal kleiner als die der Ventrikel zu nehmen. Da aber zum mindesten diejenige von den Vorhöfen gelieferte Kraftmenge, welche zur Expansion der Kammerwandungen verbraucht wird, den Ventrikeln bei ihrer Arbeit wieder zu gute kommt, und somit bereits in der oben berechneten Ventrikelleistung einbegriffen ist, so darf auch die Leistung des ganzen Herzens nicht um ein volles Fünftel oder Sechstel, sondern höchstens etwa um ein Zehntel oder Zwölftel grösser als die oben gefundene Leistung der Kammern genommen werden, und es ist hiernach die Leistung des ganzen Herzens, wie die der Ventrikel auf die Sekunde berechnet, bei 70 Pulsschlägen, in Runden = 0,6 Meterkilogramm, oder = dem 125. Teil einer
4 Pferdekraft zu setzen.

Uebrigens werden diese Werte, wie *Vierordt* richtig bemerkt hat, eher zu klein als zu gross angenommen sein, und man kommt vielleicht der Wahrheit noch näher, wenn man nach *Volkmanns* Angaben die Blutmenge = 175 Kubikcentimeter, den Druck auf ein Quadratcentimeter = 285 Gramm setzt, in welchem Falle die Herzleistung, bei einer Annahme von 75 Pulsschlägen, = $^1/_{80}$ Pferdekraft wird. Denn die Leistung des Herzens wird, wie wir gesehen haben, durch das Produkt des ausgetriebenen Blut-

stromes in die Grösse des Widerstandes gemessen, und es ist dieser Widerstand = dem zur Zeit der Systole im *Ostium arteriosum* stattfindenden hydrostatischen Drucke. Während der Systole ist aber natürlich der Druck bedeutend grösser als während der Diastole, — ein Unterschied, der durch die Elastizität der Arterien zwar gemässigt, aber keineswegs aufgehoben wird. Mittelst des Hämadynamometers vermögen wir nun wohl einen zwischen dem Maximum und Minimum liegenden mittleren Druck zu bestimmen, das Maximum selbst aber, um welches es sich handelt, bleibt uns verborgen, da die Schwankungen, welche die Manometersäule zeigt, bedeutend geringer sind als die Ab- und Zunahme, die der Druck in raschem Wechsel erfährt. —

Anmerkungen des Herausgebers.

1. Dem Beginn dieses Absatzes hat *Vierordt* bei der ersten Publikation folgende Fussnote beigefügt: „Meine Berechnungsweise ist durchaus nicht die nämliche. Ich habe die lebendige Kraft des aus dem Herzen strömenden Blutes bestimmt, was natürlich zu ähnlichen Ergebnissen führt. Herrn *Mayers* frühere Arbeit ist mir nicht bekannt gewesen. *V.*“

Vierordt hatte die durch eine Zusammenziehung der linken Herzkammer ausgestossene Blutmenge im Mittel zu $p = 0{,}72$ Kilogramm und den Druck in dieser Kammer mit Rücksicht auf Versuche *Herings* über den Druck in den benachbarten grossen Schlagadern $s = 2$ Meter Blutsäule angenommen; er berechnete sodann die Ausflussgeschwindigkeit des Blutes, welche bei Wegfall aller Widerstände entstehen würde, $c = \sqrt{2gs} = 6{,}3$ Meter und hiermit die Arbeitsleistung der linken Herzkammer für eine Zusammenziehung

$$\frac{p\,c^2}{2\,g} = \frac{0{,}12 \cdot 6{,}3^2}{2 \cdot 9{,}8} = 0{,}24 \text{ Meterkilogramm.}$$

2. Hierzu hat *Vierordt* die Fussbemerkung gemacht: „Das einzige vorerst brauchbare Erfahrungsmaterial hat *Hering* geliefert. Die Angabe desselben über das Verhältnis des Blutdruckes im rechten zum linken Ventrikel musste ich daher jeder andern Angabe vorziehen. *V.*“

Die Quelle der *Mayer*schen Angaben findet sich oben S. 88, Ueber *Herings* „Versuche, die Druckkraft des Herzens zu bestimmen," siehe Archiv für physiologische Heilkunde 1850, S. 13—21.

3. *Vierordt* gab hierzu die Fussnote: „Da *Hering* nachgewiesen, dass das Ventrikelblut während der Diastole ventric. noch unter einem bedeutenden Druck steht, so muss man den letzteren auch für den Druck annehmen, unter dem das Vorhofsblut während der Systole atrii steht, da sonst nicht einzusehen ist, wie der Vorhof sein Blut in die Kammer entleeren kann. Dennoch erscheint die Leistung der Vorhöfe, die ich übrigens nicht zu berechnen wagte, nicht sehr beträchtlich unter der Kammerleistung zu stehen. *V.*"

4. Die hierzu gegebene letzte Fussnote *Vierordts* lautet: „Die Erwägung, dass ein Teil der Vorhofsleistung sogleich der Kammerleistung zu gut komme, hat mich in meinem ersten Aufsatz über die Herzkraft zu dem Fehler verleitet, dass ich nicht die ganze lebendige Kraft des aus dem Ventrikel strömenden Blutes gleich dem mechanischen Effekt des Ventrikels genommen habe, ein Fehler, den ich bald wieder korrigiert habe (s. 1. Heft dieses Jahrgangs). Die Frage ist aber einfach die, was ist die mechanische Leistung jedes einzelnen Herzabschnittes für sich, d. h. welche Widerstände überwindet er in einer gewissen Zeit. Die Summe der Arbeiten der vier Herzabschnitte ist demnach auch die Gesamtherzkraft oder Herzleistung. *V.*"

30.

Die traurigen Erfahrungen, welche *Mayer* in den letzten Jahren gemacht hatte, blieben nicht ohne Einfluss auf seinen Gemütszustand. „Es ist möglich," schrieb er darüber in den sechziger Jahren, „dass das Ausbleiben jedweder Anerkennung, auf die ich vorschnell gerechnet hatte, das Seinige dazu beigetragen, meinen Eifer für die Wissenschaft zeitweise abzukühlen; — gewiss ist, dass zu jener Zeit das Interesse für transcendentale religiöse Wahrheiten mit unwiderstehlicher Gewalt bei mir hervorzutreten anfing. . . . . Mit der leidenschaftlichen Hast, mit der Exklusivität, die ich als Temperamentfühler zu beklagen habe, warf ich mich sofort auf dieses Gebiet."

Im Juni 1851 befand sich *Mayer* in Wildbad, um die Nachwirkungen der vorjährigen Krankheit zu überwinden. Die Briefe, welche wir aus jener Zeit von ihm besitzen, lassen zwar hie und da etwas von der erwähnten Stimmung erkennen, beweisen aber, dass er sich verhältnismässig wohl befand. Im Spätjahr trat jedoch ein neuer Anfall von Gehirnentzündung ein, über welchen er am 11. November 1851 an seinen Jugendreund, Pfarrer *Lang* in Göppingen, berichtet [1]):

„Als ich mich zu Dir nach Göppingen geflüchtet, geschah es ohne Zweifel in einer Art Vorgefühl dringender Gefahr; ich war, medizinisch ausgesprochen, im *stadium prodromorum* einer Gehirnentzündung; mein Brief vom 19. vorigen Monats ist natürlich in der Zeit des bereits ausgebrochenen und rasch zunehmenden Deliriums geschrieben. Näheres hierüber will ich Dir gerne einmal mündlich mitteilen. Die Krankheit hat Gottlob! eine

[1]) Siehe „Kleinere Schriften und Briefe" unter XV 1.

über Erwartung günstige Wendung genommen, indem ich schon nach wenig Tagen wieder im stande war, meinem Berufe nachzugehen, was ich offenbar der Beruhigung verdanke, welche mir die Religion, in specie das, was Du mir in Göppingen gesagt, gewährt. *Cessante causa cessat effectus* ist ein bekannter medizinischer Satz; dass aber auch nach überstandenem akutem Stadium das Gehirn noch in einem Zustande von Blutanschoppung zurückblieb, liegt in der Natur der Sache. Dadurch wird aber das Gemüt in einer reizbaren, teilweise hypochondrischen Stimmung erhalten, während andrerseits wieder jeder psychische Reiz nachteilig auf das somatische Organ zurückwirkt. Ich finde übrigens, dass ich aus dieser Scylla und Carybdis mit Hilfe des christlichen Glaubens herauskomme, indem ich fühle, wie ich körperlich gesunder und geistig froher werde. Gott wird den Glauben in mir befestigen und die Prüfungen, die er schickt, tragen helfen."

Am 31. December 1851 schrieb *Mayer* an *Lang* aus Anlass des Jahreswechsels:

„Für die treue Liebe, welche Du mir, namentlich auch in dem abgelaufenen Jahre bewiesen hast, sage ich Dir nochmals innigen Dank! Von der Wahrheit dessen, was Du mir sowohl in didaktischer als prophetischer Beziehung gesagt hast, gibt mir jeder Tag und jede Stunde Zeugnis, es ist darin eine Kraft, welche den Menschen in allen Lebensverhältnissen zu durchdringen, zu leiten und Frieden, Glück und Seligkeit zu geben vermag, und es hat sich deshalb auch die Furcht, in überwundene Systeme oder Ansichten zurückzufallen, von selbst verloren. Meine frühere Ahnung, dass die naturwissenschaftlichen Wahrheiten sich zur christlichen Religion verhalten etwa wie Bäche und Flüsse zum Weltmeer, ist mir nun zum lebendigen Bewusstsein geworden. Der Versuchung erliegend, mit dem Sturmwinde der Leidenschaften auf Brackwassern[1]) zu segeln, wäre es endlich im letzten Jahre mit mir wohl zum Scheitern gekommen, wenn mir nicht in der schwersten Stunde meines Lebens Gottes Gnade durch Deine Vermittlung den rechten Weg eröffnet hätte. Wie gleichgültig ist mir nun vieles, was mir sonst so wichtig war!"

---

[1]) Mischung von Flusswasser und Meerwasser an den Mündungen der Flüsse.

31.

Weil sich nun die Anfälle von Gehirnreizung damals öfter und auf bedenkliche Weise, beinahe in regelmässigen Intervallen, wiederholten, beschloss *Mayer* im Frühjahr 1852, in der unweit Esslingen schön und zurückgezogen gelegenen Kaltwasserheilanstalt Kennenburg Erholung zu suchen [1]). Da er jedoch die Hausordnung zu kasernenmässig fand, und manches andre ihm nicht gefiel, so verliess er die Anstalt bald wieder und begab sich mit seiner Frau auf einige Tage nach Winnenden zum Besuche seiner Schwiegereltern.

„Was ich mir aber zu jener Zeit still zu denken verbot, will ich jetzt ohne Rückhalt bekennen. Es lebte in mir ein Verlangen nach Anerkennung und so sehr ich auch ein solches Gefühl als sündhaften Hochmut niederzukämpfen bemüht sein mochte, so ging es doch über meine Kräfte, mein wissenschaftliches Bewusstsein in mir zu unterdrücken, und die systematische Opposition, die man allenthalben meinen, wie sich inzwischen herausgestellt hat, völlig begründeten Behauptungen entgegengesetzt hat, musste eine von Tag zu Tag steigende Bitterkeit in mir hervorrufen."

In unmittelbarer Nähe von Winnenden befindet sich die württembergische Staatsirrenheilanstalt Winnenthal. Dem Direktor derselben, Hofrat Dr. *Zeller*, machte nun *Mayer* seine Aufwartung. Nachdem er u. a. über seinen wohl ohnedies augenfällig gedrückten Gemütszustand gesprochen, erklärte er sich bereit, für einige Zeit Aufenthalt etwa in Stuttgart zu nehmen, wenn zu hoffen stehe, einen Mann zu finden, welcher geneigt und befähigt wäre, in verschiedene Ideen, die ihm am Herzen lägen, einzugehen, damit er aus der ihm so unbehaglichen isolierten Stellung herauskäme. Das wurde ihm jedoch abgeraten, er solle besser nach Göppingen gehen (etwa 10 Stunden von Stuttgart gelegen), dort

---

[1]) Wir halten uns hier möglichst an die von *Mayer* in den sechziger und siebziger Jahren gegebene Darstellung, welche als seiner Empfindung entsprechend auch dann besondere Beachtung verdient, wenn sie sich nicht überall vollständig mit den Thatsachen decken sollte. Die unter Anführungszeichen gegebenen Stellen sind meist einem unvollständigen Manuskripte (Konzept?) *Mayers* entnommen. Sicher ist, dass *Mayer* das damals in den Irrenanstalten übliche Zwangssystem in vollem Masse zu kosten hatte.

sei ein noch jüngerer strebsamer Arzt, Dr. *Landerer*, welcher zu gemeinsamen geistigen Arbeiten Zeit habe, und bei dem er am besten seine Rechnung finden werde. *Mayer*, welcher mit *Landerer* in Tübingen studiert hatte, wunderte sich zwar über diese Wahl, ging aber darauf ein.

Dr. *Landerer* hatte vorher mit einem andern Göppinger Arzte (Dr. *Palm*) eine Badeanstalt betrieben und war gerade im Begriffe, dieselbe in eine, wie Winnenthal auf das Zwangssystem begründete, Privatirrenanstalt umzuwandeln. „So mochte wohl dem industriellen Arzte wenig daran liegen, auf wissenschaftliche oder auch exegetisch-religiöse Fragen sich einzulassen, und da ich den Zweck meiner Reise verfehlt sah, beschloss ich nach wenigen Tagen meines dortigen Aufenthalts, in einem desparat zu nennenden Seelenzustande, wieder nach Hause zu gehen. Schon hatte ich auf dem Bahnhofe eine Karte gelöst, als sich meine innere Unruhe, meine Seelenangst bis zur Bewusstlosigkeit steigerte, und ich erinnere mich nur noch traumartig dunkel, dass ich von Herrn Dr. *Landerer* in einem Kabriolett wieder abgeholt und in seine nahe gelegene Anstalt zurückgeführt wurde. Nun verlässt mich mein Gedächtnis; ich verfiel in furibundes Delirium; meine Frau aber, welche auf die erste Nachricht herbeigeeilt war, machte Herrn Dr. *Landerer* begreiflich, dass es sich hier nur um eine Gehirnentzündung handle, wobei nicht sowohl Zwangsjacken und Stricke als vielmehr Blutentziehungen, Eisumschläge u. dgl. indiciert seien. Auf diese letzteren Mittel trat auch alsbald eine Wendung zum Guten ein und ich entsinne mich wieder deutlich, das aus der Ader gelassene Blut betrachtet und stark entzündet gefunden zu haben. Meine Frau, mit solchen Anfällen von den letzten zwei Jahren her vertraut, konnte sich, um den Kindern die Mutter wieder zu geben, nun beruhigt auf den Heimweg machen.“

„Als ich nun diesen schweren und auch letzten gefährlichen Anfall trotz der teilweise ganz unsinnigen Behandlung glücklich überstanden hatte und sich bei festem Schlafe und starkem Appetite — wobei ich über Ueberfütterung nicht zu klagen hatte — meine Kräfte rasch wieder herstellten, erging es mir etwa wie einem, der sich aus wüstem Rausche erholt hat, — ich war mir meiner wunderbar wieder erlangten geistigen Gesundheit mit Freuden bewusst.“

„In kurzer Frist war auch eine völlige Veränderung mit

mir vorgegangen; von schwärmerisch-pietistischer Sentimentalität keine Spur mehr; ich war wieder Mann geworden und fürchtete mich wie Doktor *Faust* weder vor Tod noch Teufel; je mehr Herr *Landerer* und seine Helfershelfer mich folterten, und dies geschah auf eine Weise, welche der weiland spanischen Inquisition zur Ehre gereichen konnte, desto fester wurde mein krankhaft weiches Gemüt."

Nachdem *Mayer* sich wieder hergestellt fühlte, erklärte er Dr. *Landerer*, er verlange, dass ihn der Oberamtsarzt von Göppingen besuche (der oben erwähnte Dr. *Palm*) und darüber entscheide, ob er in diesem Irrenhause bleiben müsse. Man fuhr jedoch mit Zwangsjacken, Zwangsstühlen u. s. w. fort und *Mayer* bekam den Oberamtsarzt nie zu sehen.

„Nach dreimonatlichem Martern wurde ich in der Nacht vom 31. Juli auf 1. August 1852 fest in die Zwangsjacke geschnürt, nach Winnenthal geschleift, wo ich, morgens früh angekommen, auf Befehl des Herrn Hofrat an diesem Sonntage sogleich wieder in einen bereit stehenden Zwangsstuhl geschnallt wurde. 13 Monate wurde ich nun in dieser Anstalt mit allen erdenklichen somatischen und psychischen Misshandlungen bedacht, bis ich es so weit brachte, meine Befreiuug zu erzwingen."

32.

Die Behandlung, welche *Mayer* in Göppingen und Winnenthal zu erdulden hatte, warf einen Schatten auf sein ganzes späteres Leben. „Man vermied später aufs ängstlichste", erzählt *Rümelin*, „an diese Dinge zu erinnern, aber er fing nur allzuoft selbst davon an, und so hörte ich es mehrmals mit an, wie er zwar in grosser Erregung, aber nicht wie einer, der seines Geistes und seiner Erinnerungen nicht mächtig gewesen wäre, sich darüber aussprach. Was er da vorbrachte, wie er in stetig anwachsendem Affekt seine Erlebnisse und Argumente darlegte, wird jedem, der ihn davon reden hörte, unvergesslich sein. Er sah sich für sein ganzes Leben als beschimpft und geächtet an."

Mayer hat stets bestritten, wirklich geisteskrank gewesen zu sein, er gab nur Gehirnentzündung und eine Herabstimmung seines Gemütszustandes zu, die Kur aber, welche mit ihm versucht wurde, betrachtete er als unwissenschaftlich und barbarisch.

Noch zwei Jahre vor seinem Tode suchte er es als Verkehrtheit zu erweisen, „wenn man in unverantwortlichem Schlendrian bei psychischen Leiden und geistigen Störungen, welche ohnedies keinem Sterblichen je ganz erspart bleiben, die so nötigen Auslösungen auf brutale Weise mit Zwangsjacken, Zwangsstühlen und Zwangsbetten unterdrückt [1])". Wird dies jetzt selbst im allgemeinen zugegeben, so dürfte eine solche Behandlung am wenigsten einem unbeugsamen Willen wie dem *Mayer*schen gegenüber am Platze gewesen sein. Aber *Zeller* erklärte nach *Mayers* Mitteilung an *Lang*: „Wir müssen Ihnen einen andern Willen schaffen", und sein Verständnis *Mayer*scher Anschauungen geht aus seiner Aeusserung über die „Organische Bewegung" hervor: „Sie haben die Quadratur des Zirkels gesucht." So mochte er wohl Grössenwahn bei *Mayer* angenommen haben.

Nach seiner Entlassung aus Winnenthal um den Anfang des Septembers 1853 unternahm *Mayer* eine Reise nach der Schweiz, wobei er auch *Lang* in Göppingen besuchte und sich bereits bitter über *Zeller* beklagte, und kehrte dann nach Heilbronn zurück. Sein geistiger Zustand blieb im allgemeinen normal, jedoch periodisch unterbrochen durch Zeiten krankhafter Erregung, über deren Auftreten er sich sehr wohl bewusst war und die er selbst am meisten bedauerte.

Die vortretenden Erscheinungen dieser Störungen schildert *Rümelin* im Einklange mit Wahrnehmungen andrer wie folgt: „Eigentliche Wahnvorstellungen und fixe Ideen im strengen Sinne, so dass ihm das richtige Selbstbewusstsein, die Erkenntnis der Umgebung, die normale Deutung der Sinneswahrnehmungen abhanden gekommen wäre, hat er niemals gehabt; auch blieb der logische Zusammenhang seines Thuns und Redens immer noch erkennbar. Aber doch konnte sein Zustand jener Grenze sehr nahe kommen, wenn ihn die geringfügigsten Anlässe und Eindrücke, die ihm etwas Verletzendes, Bedrohliches, Kränkendes zu haben schienen, in die massloseste Aufregung versetzten, wenn er dann mit einer staunenswerten Kombinationsgabe Zusammenhänge und Motive des Geschehenen ersann, die rein nur seiner Einbildung angehörten, wenn er dabei seine argwöhnischen Vermutungen und Auslegungen auch gegen die nächsten Anverwandten und Freunde kehrte und ihnen die unglaublichsten

---

[1]) Siehe im Folgenden Aufsatz XIII.

Dinge zutraute. Dann lief er zu Hause ruhelos Stunden, halbe Tage und Nächte lang durch alle Zimmer, sprach und schrie fast ununterbrochen, mitunter Worte von unhörbarem Inhalt, hielt auch die sonst gewohnte massvolle Grenze im Genusse geistiger Getränke nicht mehr ein, und steigerte so den Zustand bis zur vollen Unerträglichkeit für sich und die Seinigen. Manchmal trat die Beruhigung und Selbsterkenntnis nach solchen Entdeckungen von selbst ein; andre Male entschloss er sich oder liess sich durch Verwandte und Freunde dazu bereden, eine Heilanstalt aufzusuchen. Unfreiwillig ist er nie in eine solche gebracht worden, was bei seinem Naturell auch ganz unausführbar gewesen wäre."

33.

Während der fünfziger Jahre machte sich der Einfluss der Erkenntnis des mechanischen Wärmeäquivalents und der Erhaltung der Energie auf allen Gebieten der Naturwissenschaften geltend. Man revidierte die alten Systeme, suchte sie mit den neuen Anschauungen in Einklang zu bringen und auf den so gewonnenen Grundlagen weiter zu bauen.

Insbesondere trat eine rasche Entwickelung der „Mechanischen Wärmetheorie" im engeren Sinne ein, bei welcher *Clausius*, *Rankine* und *William Thomson* den Vortritt hatten. Versteht man unter „Mechanischer Wärmetheorie" die Lehre von den Gesetzen, nach welchen die Wärme aus mechanischer Arbeit erzeugt und wieder in mechanische Arbeit verwandelt werden kann, so wurde diese Wissenschaft erst durch den Begriff des mechanischen Wärmeäquivalents möglich; fasst man sie jedoch allgemeiner als die Lehre von den Beziehungen zwischen Wärme und Arbeit auf, so muss *Sadi Carnot* als ihr Begründer angesehen werden.

Carnot hatte sich zuerst (1824) die Aufgabe gestellt, die Erzeugung von Arbeit durch Wärme unabhängig von der Art der vermittelnden Körper und Mechanismen zu behandeln [1]), er war zu der Erkenntnis gelangt, dass die Wärme nur beim Uebergange von wärmeren zu kälteren Körpern Nutzarbeit leisten könne und hatte durch Einführen der umkehrbaren Zustandsänderungen und Kreisprozesse wichtige Hilfsmittel auch für spätere Untersuchungen geliefert. Es war ihm gelungen, eine

[1]) *Carnot*, Réflexions sur la puissance motrice du feu, Paris 1824.

Reihe von Wahrheiten über die bewegende Kraft der Wärme festzustellen, mit welchen er seiner Zeit weit voraus war.

Die *Carnot*sche Schrift war jedoch ziemlich in Vergessenheit geraten, als *Clapeyron* im Jahre 1834 die Aufmerksamkeit wieder auf dieselbe lenkte[1]), indem er *Carnots* Anschauungen und Schlüsse in mathematische Formeln kleidete, sie weiterführte, und die betrachteten Zustandsänderungen durch Druckkurven im Sinne von *Watts* Indikatordiagrammen sehr anschaulich gestaltete. Im Jahre 1843, ein Jahr nach dem Erscheinen des ersten *Mayer*schen Aufsatzes, wurde *Clapeyrons* Abhandlung in *Poggendorffs* Annalen mit der Bemerkung abgedruckt, dass derselbe seiner Wichtigkeit wegen noch jetzt ein volles Recht zur Aufnahme zu haben scheine. — Die meisten wärmetheoretischen Arbeiten zu Anfang der fünfziger Jahre knüpften denn auch an *Carnot* und *Clapeyron* wieder an, wie schon *Holtzmann* 1845 von ihnen ausgegangen war.

Aber eine fundamentale Aenderung musste nun vorgenommen werden. *Carnot* hatte die Wärme zwar nicht als einen Stoff angesehen, wie gewöhnlich behauptet wird, er stellte die Frage: „Peut-on concevoir les phénomènes de la chaleur et de l'électricité comme dûs à autre chose qu'à des mouvements quelconques des corps, et comme tels, ne doivent-ils pas être soumis aux lois générales de la mécanique?“ aber indem er sich von den Anschauungen seiner Zeit nicht vollständig frei machen konnte, verglich er die Arbeitsleistung der Wärme beim Uebergange von höherer zu niederer Temperatur mit der Arbeit einer (unveränderlichen) Masse beim Uebergang von einem höheren zu einem niederen Niveau und kam zu dem Schlusse: „La production de la puissance motrice est donc dûe, dans nos machines à vapeur, non à une consommation réelle du calorique, mais à son transport d'un corps chaud à un corps froid.“

In geradem Gegensatze hierzu stand das *Mayer*sche Ex nihilo nil fit. „Die unter dem Kessel angebrachte Wärme geht in Bewegung über, und diese setzt sich wieder an den Achsen der Räder als Wärme in Menge ab,“ schrieb er schon in seinem ersten Aufsatze von 1842, und im gleichen Jahre bemerkte er an *Griesinger:* „Ob wir schnell oder langsam verbrennen, ob im

---

[1]) *Clapeyron,* Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur. Journal de l'école polytechnique, 1834 XIV, p. 170.

offenen oder im Raum der Maschine, ist für das Endresultat, für das durch den Verbrennungsprozess gelieferte Wärmequantum gleichgültig; lassen wir aber mit unserer *C*-menge die Maschine arbeiten und die Gewichte heben, so wird ein geringeres Wärmequantum als vorher geliefert; der Ausfall wird aber präcis wieder gedeckt, wenn wir den mechanischen Effekt, den die Gewichte durch das Herabfallen liefern, zur Wärmeproduktion verwenden[1])."

Damit war die Grundlage der modernen Theorien thermodynamischer Maschinen gewonnen. 13 Jahre später stellte *Hirn* auch durch direkte Versuche mit Dampfmaschinen fest: „Il y a donc disparition et non pas seulement dispersion de calorique dans un moteur à vapeur. Et la force obtenue est précisement proportionnelle à la quantité de fluide qui disparaît comme principe de chaleur pour apparaître comme force motrice[2])."

34.

Von besonderer Wichtigkeit für die mechanische Wärmetheorie erwiesen sich die Versuche, welche *Regnault* in den vierziger und fünfziger Jahren über die Eigenschaften der Gase und Dämpfe anstellte[3]). Ohne das von ihm gelieferte umfassende Zahlenmaterial wäre die Weiterbildung der Theorie bis zu praktischer Verwendbarkeit vielfach gehemmt gewesen, während die Benützung der *Regnault*schen Werte in den Beziehungen der

---

[1]) Vergleiche oben S. 52, 54.

[2]) Bulletin de la société industrielle de Mulhouse, 1855 Nr. 128 et 129, p. 276.

[3]) *Regnaults* „Relations des expériences entreprises par ordre de Monsieur le ministre des travaux publics et sur la proposition de la commission centrale des machines à vapeur, pour déterminer les principales lois et données numériques qui entrent dans le calcul des machines" sind zusammengestellt in zwei Bänden der „Mémoires de l'Institut de France", 1847 XXI und 1862 XXVI. Einer der wichtigsten Aufsätze, Recherches sur les chaleurs spécifiques des fluides élastiques, wurde in der Sitzung der Pariser Akademie vom 18. April 1853 vorgetragen und in den Comptes rendus, 1853 XXXVI, p. 676 bis 687, veröffentlicht. In ihm sprach sich *Regnault* unter Berufung auf *Joule, Mayer* etc. und seine eignen Erfahrungen erstmals für die Aequivalenz von Wärme und Arbeit aus.

mechanischen Wärmetheorie zu Ergebnissen führte, deren Einklang untereinander und mit der Erfahrung das allgemeine Vertrauen in die Richtigkeit der Grundlagen schon in den fünfziger Jahren bis zur Gewissheit steigerte.

Vor allem kamen die *Regnault*schen Versuchsresultate der Feststellung des mechanischen Wärmeäquivalents zu gute. Während *Mayer* und *Holtzmann* dasselbe aus den Eigenschaften der atmosphärischen Luft für das übliche metrische Mass gleich 367 und 374 berechnet hatten, war *Joule* 1843 auf experimentellem Wege zu Werten zwischen 322 und 571 und in einem Berichte an die Pariser Akademie 1847 zum Werte 432 gekommen, auf Grund umfassender Versuche über die Wärmeentwickelung bei Reibung von Wasser, Quecksilber und Gusseisen aber 1850 bei 423,5 stehen geblieben. Dass dieser Wert richtig sei, galt keineswegs als ausgemacht. 1851 beantragte *Brücke* bei der Wiener Akademie, durch eine Preisaufgabe neue Versuche von andrer Art als die *Joule*schen zu veranlassen, um die unvermeidlichen Fehlerquellen zu ändern, und die Physikalische Gesellschaft zu Berlin schrieb noch im Januar 1855 einen Preis von 250 Thalern für die befriedigendste Lösung der Aufgabe aus, „das mechanische Aequivalent der Wärme experimentell zu bestimmen".

Die *Regnault*schen Versuche über die Eigenschaften der Gase kamen nun neuen Versuchen über das mechanische Aequivalent der Wärme gleich, da sich das letztere nach der *Mayer*schen Methode daraus berechnen liess. Auf diese Weise erhielt *Person* schon 1854 den Wert 424, und die Uebereinstimmung der Resultate, welche sich nach so verschiedenen Methoden wie diejenigen von *Joule* und *Mayer* ergaben[1]), festigten das Vertrauen zu dem Wärmeäquivalente von ca. 424 in einem Masse, dass spätere Ermittelungen annähernd gleicher Werte zwar als willkommene Bestätigungen hingenommen wurden, abweichende Resultate aber kaum Beachtung fanden.

35.

Auch ein Hauptangriffsobjekt *Mayers*, die „Lebenskraft"[2]), fand in den fünfziger Jahren ein geräuschloses Ende. Aus den Zeiten der Naturphilosophie stammend, hatte sie nach gründ-

[1]) Siehe oben S. 279—282.

[2]) Vergl. S. 35, 132, 134, 135 u. s. w.

licher Desinfektion von den Spuren derselben in *Liebigs* „Tierchemie“ ein standesgemässes Unterkommen gefunden. Im Jahre 1842 hiess es dort: „In dem Organismus des Tieres kennen wir nur eine Quelle der bewegenden Kraft, und diese Quelle ist die nämliche Ursache, welche die Zunahme belebter Körperteile an Masse bedingt, welche ihnen das Vermögen gibt, äusseren Aktionen Widerstand zu leisten, es ist die Lebenskraft.“ [1])

Nachdem nun *Liebig* in seinen chemischen Briefen 1859 dem Kräftewechsel in der unorganischen Natur ein besonderes Kapitel im Anschluss an *Mayer* gewidmet hatte[2]), sprach er zwar auch noch von „Licht, Wärme, Lebenskraft etc.“, gab aber der letzteren, wie schon 1851, in Form einer Anmerkung folgenden Empfehlungsbrief mit auf den Weg: „Das Wort Lebenskraft bezeichnet nach dem jetzigen Zustande der Wissenschaft keine Kraft für sich, wie man sich etwa die Elektrizität, den Magnetismus denken kann, sondern es ist ein Kollektivnamen, welcher alle die Ursachen in sich begreift, von denen die vitalen Eigenschaften abhängig sind. In diesem Sinne ist der Namen Lebenskraft ebenso richtig und gerechtfertigt, wie der Namen und Begriff des Worts Verwandtschaftskraft, womit man die Ursachen der chemischen Erscheinungen bezeichnet, von der wir aber nicht im geringsten mehr wissen, als von den Ursachen, welche die vitalen Erscheinungen bedingen.“

Da man aber die Ursache der vitalen Erscheinungen, soweit dieselben auf Bewegung, Wärme und andre Energieformen hinauslaufen, nicht ohne wesentliche Mitwirkung *Liebigs* in der durch die chemische Verwandtschaft bedingten Energie der Nahrungsmittel erkannt hatte (ganz wie die Wärme und Arbeit der Dampfmaschine in der Energie des Heizmaterials), und bezüglich darüber hinausliegender Dinge mit einem Worte nichts gewonnen war, so konnten die Rückzugsgefechte *Liebigs* das Abscheiden der Lebenskraft nicht mehr aufhalten, dieselbe wurde in der wissenschaftlichen Antiquitätenkammer neben dem horror vacui, der negativen Schwere und dem Phlogiston beigesetzt.

---

[1]) Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie, Braunschweig 1842, S. 203.

[2]) Chemische Briefe, vierte Auflage, Leipzig und Heidelberg 1859, dreizehnter Brief.

36.

In dem in den letzten Paragraphen skizzierten Fortbildungsstadium der *Mayer*schen Lehren ergaben sich mitunter noch mancherlei Widersprüche.

So erhielt *Laboulaye* infolge ungenügender Erkenntnis der verschiedenen Verwendungen der Wärme das mechanische Wärmeäquivalent gleich 110 und später gleich 140 [1]); so schloss *Hirn* aus eigenen, wertvollen Versuchen, welche durch die Preisaufgabe der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin und die Kritik seiner Bearbeitung derselben durch *Clausius* veranlasst waren, dass das mechanische Wärmeäquivalent keine Konstante sei und eine expansionslos arbeitende Dampfmaschine ohne Aufwand von Wärme Arbeit leisten könne [2]), während die richtige Interpretation der Versuchsresultate eine weitere Bestätigung der neuen Anschauungen lieferte; so erklärte *Faraday* die Auffassung der Gravitation als eine Kraft, welche umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung wirke, im Widerspruch mit dem Prinzip von der Erhaltung der Energie stehend, wobei er Kraft im gewöhnlichen Sinne und Energie nicht gehörig auseinander gehalten hatte [3]), u. s. w.

Allein derartige Missverständnisse konnten die allgemeine Anerkennung der neuen Grundgesetze nicht mehr aufhalten. Die Bestätigung derselben auf den verschiedensten Gebieten, die Beseitigung zahlreicher Widersprüche, die einfache Lösung Jahrhunderte alter Probleme und die ungezwungenen Fortschritte auf den gewonnenen Grundlagen sprachen zu deutlich für die Zuverlässigkeit derselben. Das Interesse weiter Kreise wandte sich den neu erschlossenen Gebieten zu, öffentliche Vorträge und populäre Schriften mussten zu seiner Befriedigung dienen [4]), wie

---

[1]) Comptes rendus, 1854 XXXIX, p. 1131, und 1858 XLVI, p. 743.

[2]) *Hirn*, Recherches sur l'équivalent mécanique de la chaleur, Colmar 1858, p. 160, 196 etc. In seiner „Exposition analytique et expérimentale de la théorie mécanique de la chaleur, Paris 1862, erkannte *Hirn* seinen Irrtum an und gab die richtige Erklärung seiner Versuchsresultate.

[3]) *Faraday*, On the conservation of force. Philosophical Magazine, 1857 XIII, p. 225.

[4]) Als Beispiele mögen genannt werden die Vorträge: *Helmholtz*, Die Wechselwirkung der Naturkräfte, Königsberg 1854 (auch ab-

bei grossen Wahrheiten üblich, meldeten sich mehr und mehr selbständige Entdecker derselben, man diskutierte deren Einfluss für die Zukunft und suchte nach ihren Spuren in der Vergangenheit bis *Plato* und *Heraklit* zurück, — in Summa: das erste Entwickelungsstadium der *Mayer*schen Lehren konnte um den Beginn der sechziger Jahre als abgeschlossen gelten.

37.

Mit dieser Ausbreitung der neuen Lehren in den fünfziger Jahren vermochte die Anerkennung ihres ersten Vertreters nicht vollständig Schritt zu halten.

Im Jahre 1850 hatte *Joule* seinen abschliessenden Aufsatz „Ueber das mechanische Aequivalent der Wärme“ veröffentlicht[1]), welcher mit einer kleinen Skizze der Fortschritte der Wärmetheorie beginnen sollte. *Joule* führte an, *Faraday* habe 1834 dem Gedanken Ausdruck verliehen, dass die sogenannten Imponderabilien nur die Exponenten verschiedener Formen der Kräfte seien. „Auch Herr *Grove* und Dr. *Mayer* haben sich entschieden für ähnliche Ansichten ausgesprochen.“ Weiter wurde bemerkt, dass *Mayer* 1842 zuerst Versuche zur Entwickelung von Wärme durch Reibung von Flüssigkeiten erwähne, er behaupte durch Schütteln die Temperatur des Wassers von 12 auf 13° gesteigert zu haben[2]), ohne jedoch die Grösse der verbrauchten Kraft oder die zum Zwecke eines genauen Resultats gebrauchten Vorsichtsmassregeln anzugeben. Dass *Mayer* bei Erkenntnis und Feststellung des mechanischen Wärmeäquivalents irgendwie in Frage komme, blieb unerwähnt.

Im gleichen Jahre (1850) bemerkte *Clausius* in seinem ersten Aufsatze über Wärmetheorie, dass *Holtzmann* 1845 das Wärmeäquivalent bestimmt habe, „auf dieselbe Weise wie es schon

---

gedruckt in *Helmholtz*, Vorträge und Reden, Braunschweig 1884); *v. Baumgartner*, Das mechanische Aequivalent der Wärme und seine Bedeutung in den Naturwissenschaften, nach dem Almanach der Wiener Akademie, VI. Jahrgang, abgedruckt in *Dinglers* Polytechnischem Journal, 1856 CXLI, S. 191.

[1]) Philosophical Transactions 1850 p. 61; *Joule*, Das mechanische Wärmeäquivalent, deutsch von *Spengel*, Braunschweig, 1872 S. 87. — Der Aufsatz ist datiert vom 4. Juni 1849.

[2]) Siehe oben S. 27.

früher von *Mayer* geschehen ist," und nun äusserte 1851 auch *Joule* bezüglich der Verwandlung von Wärme und Arbeit ineinander: „Später fand ich, dass *Mayer* schon vor mir eine ähnliche Hypothese vertreten hatte, ohne jedoch eine experimentelle Darlegung ihrer Richtigkeit zu versuchen."

Die 1852 publizierten „Fortschritte der Physik im Jahre 1848" berichteten zu dem Beginne des Prioritätsstreits zwischen *Mayer* und *Joule* (Referent *Helmholtz*) in Betreff *Mayers*: „Er will das Prinzip 1840 gefunden haben, 1842 erschien in den Annalen der Chemie und Pharmacie XLII, S. 234 seine erste Veröffentlichung darüber, in welcher er die Unzerstörbarkeit der Kräfte und ihre Aequivalenz in der Transformation behauptet hat. Im Jahre 1845 hat er in seiner Schrift „Die organische Bewegung" dasselbe auf den Menschen angewendet und auch noch andere physikalische Folgerungen gezogen, wie z. B. die Erwärmung der Magnete durch Wechsel ihrer Pole erschlossen." [1])

Der Bericht von *Helmholtz* über den Fortgang des Prioritätsstreits, publiziert 1853 in den Fortschritten von 1849, erkannte die Priorität *Mayers* bezüglich der Unzerstörbarkeit und Aequivalenz des Arbeitswerts der Naturkräfte an, bemerkte aber in Betreff des mechanischen Wärmeäquivalents: „Die von *Mayer* angestellte Berechnung dieses Aequivalents aus der Wärme, welche ein Gas entwickelt, wenn es mit Verbrauch einer gewissen Arbeitsgrösse komprimiert wird, erfordert ausser dem Prinzip von der Unzerstörbarkeit der Kraft auch noch die Annahme, dass hierbei alle Arbeit sich in Wärme verwandle. Diese Annahme, welche auch den Theoremen und Rechnungen von *Holtzmann* zu Grunde liegt, ist aber, wie es Referent schon früher und Herr *Joule* in der vorliegenden Arbeit hervorgehoben hat, erst durch die Versuche des letzteren im Jahre 1847 bestätigt worden."

Hier tritt also 1853 der von *Mayer* schon 1849 widerlegte Irrtum [2]) wieder auf, er war nun zu Lebzeiten *Mayers* nicht mehr vollständig zu überwinden. Auch *Joule*, der seinerzeit auf die Berichtigung *Mayers* geschwiegen hatte, glaubte 1855 in einer Mitteilung an die Pariser Akademie wiederholen zu dürfen: „A cette époque la véritable cause du développement de chaleur produit par la compression de l'air n'avait pas été établie. Aussi

[1]) Siehe „Kleinere Schriften und Briefe", X 3, und oben S. 66.
[2]) Siehe oben S. 225.

le résultat obtenu par cet éminent physicien [*Mayer*], quelle que soit la sagacité dont il a fait preuve ne pourrait être regardé que comme hypothétique.“ Im selben Jahrgange der Comptes rendus enthielt ein Bericht über eine Arbeit *Thomsons* den ganzen Gedankengang *Mayers* über die Wandlungen der Sonnenenergie[1]), ohne *Mayer* auch nur mit einem Worte zu erwähnen.

Immerhin nahm die Anerkennung *Mayers* allmählich zu, wie aus den Abhandlungen von *Regnault* (1853), *Person* (1854), *Hirn* (1855) u. s. w. zu ersehen ist. In seinem Vortrage: „Ueber die Wechselwirkung der Naturkräfte“, Königsberg 1854, bestätigte *Helmholtz*: „Der erste, welcher das allgemeine Naturgesetz, um welches es sich hier handelt, richtig auffasste und aussprach, war ein deutscher Arzt, *J. R. Mayer* in Heilbronn, im Jahre 1842. Wenig später, 1843, übergab ein Däne, *Colding*, der Akademie von Kopenhagen eine Abhandlung, welche dasselbe Gesetz aussprach, und auch einige Versuchsreihen zu seiner weiteren Begründung enthielt[2]). In England hatte *Joule* um dieselbe Zeit angefangen, Versuchsreihen anzustellen, welche sich auf denselben Gegenstand bezogen.“

Helmholtz fügte hinzu: „Ich selbst hatte, ohne von *Mayer* und *Colding* etwas zu wissen, und mit *Joules* Versuchen erst am Ende meiner Arbeit bekannt geworden, denselben Weg betreten; ich bemühte mich namentlich, alle Beziehungen zwischen den verschiedenen Naturprozessen aufzusuchen, welche aus der angegebenen Betrachtungsweise zu folgern waren, und veröffentlichte meine Untersuchungen 1847 in einer kleinen Schrift unter dem Titel: „Ueber die Erhaltung der Kraft“.

38.

Im Jahre 1857 übergab ein junger Physiker, Dr. *Conrad Bohn,* Assistent am physikalischen Institut der Universität München, der philosophischen Fakultät daselbst eine Habilitationsschrift, „Die Lehre von der Erhaltung der Kraft“, in welcher die neue Lehre im Zusammenhange mit den älteren Erhaltungsvorstellungen behandelt wurde. Diese Schrift enthielt nach Be-

---

[1]) Siehe oben von S. 74 an.

[2]) Vergl. *Colding,* On the history of the principle of the conservation of energie. Philosophical Magazine, 1863 XXVII, p. 54; Annales de chimie et de physique, 1864 I, p. 466.

merkungen über unzweckmässige Bezeichnungen *Mayers* u. a. folgende Stelle: „Die Aufsätze aber sind voll der geistreichsten Ideen und mit einiger Geduld kommt man dazu, die Schwierigkeiten zu überwinden, — wo man dann sieht, dass seit *Mayer* eigentlich keine neue Idee in diesen Teil der Physik, der jetzt von so ausgezeichneten Kräften bearbeitet wird, gekommen ist. *Mayer* wurde das unglückliche Los zu teil, bald nach dem Erscheinen dieser Schriften im Irrenhause zu sterben. — Dies erklärt manches Auffallende und Unklare seiner Arbeiten".

Von der Arbeit *Bohns* hatte auch das Fakultätsmitglied *Liebig* Kenntnis genommen, der sich mit dem Verfasser mehrfach über den Gegenstand unterhielt.

Am 19. März 1858 hielt *Liebig* in München einen öffentlichen Vortrag vor gemischtem Publikum „Ueber die Verwandlung der Kräfte[1])." Er sprach von der in neuerer Zeit erlangten Gewissheit, dass die verschiedenen Naturkräfte Aeusserungen ein und derselben Ursache seien, und fügte bei, dass die neue Vorstellung über das Wesen der Naturkräfte, welche wir einem Arzte, Dr. *Mayer* in Heilbronn, verdanken, Licht in eine Menge bis dahin unverständlicher und unerklärbarer Vorgänge gebracht habe. Im Zusammenhange damit erwähnte *Liebig*, dass *Robert Mayer* im Irrenhause gestorben sei[2]).

Ueber diesen Vortrag enthielt die „Allgemeine Zeitung" (damals in Augsburg) vom 3. April 1858 unter dem Titel „*Liebig* über die Metamorphose der Kraft" einen Bericht, in welchem bezüglich des ersten *Mayer*schen Aufsatzes folgendes bemerkt war: „In diesem Aufsatz war der Beweis geführt, dass die Kraft und ihre Wirkung unzerstörlich ist, dass Naturkräfte in ihrer Wechselwirkung nicht untergehen, sondern nur in eine andere Form umgesetzt werden, die gleichen Werts mit ihrer ursprünglichen Wesenheit ist. Die Sache ward seitdem in Deutschland und England weiter verfolgt und mit Recht nannte sie *Baumgartner* in Wien eine der glänzendsten Entdeckungen des Jahrhunderts. Leider hat ihr erster Entdecker einen frühen Tod im Irrenhaus gefunden."

---

[1]) Wissenschaftliche Vorträge, gehalten zu München im Winter 1858, Braunschweig 1858, S. 583.

[2]) Die Stelle ist beim Abdruck des Vortrags in der vorstehend zitierten Schrift weggelassen.

Drei Tage später brachte die Allgemeine Zeitung eine Korrespondenz aus Heilbronn, in welcher das Erstaunen über diese Todesnachricht zum Ausdruck kam. Dieselbe sei glücklicherweise falsch, denn *Mayer* befinde sich im besten Wohlsein und lebe in Heilbronn nach wie vor seinem Berufe als Arzt. Diese Berichtigung fand eine weniger in die Augen fallende Stelle als die Todesnachricht, so dass die Wirkung der letzteren wohl nicht überall aufgehoben wurde; aber im gleichen Jahre erschien *Mayer* auf der Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte zu Karlsruhe und stellte damit seine Fortexistenz so zweifellos fest, dass die ihm peinliche Nachricht sicherlich bald vergessen worden wäre, wenn ihr nicht *Poggendorff* eine bleibende Stelle angewiesen hätte.

Derselbe war seit lange mit der Bearbeitung eines „Biographisch-litterarischen Handwörterbuchs zur Geschichte der exacten Wissenschaften“ beschäftigt (ausgegeben Leipzig 1863), und hatte für dasselbe von Professor *Reusch* in Tübingen auch einige Angaben über *Mayer* erbeten und erhalten. Diesen Angaben fügte *Poggendorff* als Fussnote die Bemerkung bei: „Soll vor 1858 im Irrenhause gestorben sein (Augsb. Allgem. Zeit.)“. — Am Schlusse des Bandes findet sich unter zahlreichen Ergänzungen und Berichtigungen die Notiz: „Ist nicht (wie die Allgem. Zt. angab) 1858 im Irrenhause gestorben, sondern (1862) noch am Leben“. Da man aber bei Verwendung eines Nachschlagebuchs nicht immer erst nach den Berichtigungen sucht, so war damit wenig genützt. Warum *Poggendorff*, der sich so viel Mühe gab, das Material über Tausende von Forschern bis zu sehr niederem Range herab zusammen zu tragen, nicht v o r Aufnahme einer derartigen mit „Soll“ beginnenden Bemerkung an einen seiner württembergischen Korrespondenten schrieb, ist unverständlich.

Die Nachricht war nun nicht mehr aus der Welt zu bringen, sie kehrte in Büchern und Zeitschriften, im Inlande und Auslande wieder. Noch in den siebziger Jahren trat sie beispielsweise in *Pierers* Jahrbüchern auf, obschon damals, wie *Mayer* meinte, „wohl schon der Setzer einen solchen Missgriff hätte bemerken können“. Da die Herausgeber die Notwendigkeit der Hebung des Fehlers für selbstverständlich erklärten und bezügliche Vorschläge machten, so stellte es *Mayer* ihrem Ermessen anheim, „auf welche Weise der in Rede stehende Irrtum

unserm gemeinschaftlichen Interesse am besten entsprechend zu berichtigen sei“ [1]).

39.

Nach seiner Rückkehr von Winnenthal (1853) hatte *Mayer* verhältnismässig rasch die schlimmsten Nachwirkungen der durchlebten schweren Zeit überwunden und friedliche Jahre im Schosse seiner Familie zu Heilbronn zugebracht. Er erlebte die Freude, seinen Bruder *Fritz* von seinem Flüchtlingsaufenthalte in Amerika zurückkehren und nach vollständiger Freisprechung durch das Schwurgericht die vom Vater übernommene Apotheke wieder leiten zu sehen. Noch 1853 konnte er seinen Schwiegereltern in Winnenden schreiben: „Unsere Kinder wachsen Gottlob in ungestörter Gesundheit heran“, und im nächsten Jahre beifügen: „Mit meiner lieben Frau und dem lieben Kleinen geht es Gottlob fortwährend gut und wir erlauben uns die Bitte an die Grosseltern, auch diesmal wieder Patenstelle bei dem Kleinen anzunehmen.“

Auch die Folgen seines Sturzes von 1850 waren nun soweit überwunden, dass *Mayer* seiner Liebe zur Natur genügen und wieder grosse Fusstouren unternehmen konnte. So erfahren wir aus einem Briefe vom November 1854, dass er den etwa 16 Kilometer weiten Weg von Ludwigsburg nach Winnenden zu Fusse zurückzulegen gedenke. Bezüglich seiner ärztlichen Praxis schrieb *Mayer* im Juni 1855 an seinen Schwiegervater: „Von der Praxis habe ich mich nicht ganz zurückgezogen, und halte es stets für Pflicht, diejenigen, welche mir ihr Vertrauen schenken, nach bestem Wissen zu beraten, wobei ich auch in der Regel die Freude habe, zu sehen, dass der Himmel zu meinem Thun den Segen gibt.“

Die wiederkehrende innere Befriedigung und Spannkraft trat auch darin hervor, dass *Mayer*, wie bereits berührt, im September 1858 die deutsche Naturforscherversammlung besuchte, auf welcher im vergangeneu Jahre zu Wien der Präsident der Akademie der Wissenschaften, *v. Baumgartner*, „Ueber den Einfluss, den die neueren Arbeiten über Wärme auf unsre Grundbegriffe üben müssen“ berichtet hatte. Schon auf dem Wege

---

[1]) Näheres über die falsche Todesnachricht siehe in „Kleinere Schriften und Briefe“ unter XVI.

dahin traf *Mayer* mit *Liebig* zusammen, der „sehr charmant“ gegen ihn war; in der physikalischen Sektion lernte er auch *Helmholtz*, *Clausius*, *Holtzmann* persönlich kennen, welche ihm „durch ihre Schriften schon lange interessant“ waren. „Wie vorauszusehen war, so boten die Vorlesungen, die hier gehalten wurden, viel weniger dar, als der Verkehr mit so vielen ausgezeichneten Männern in persönlichem Umgange“. Je nach Bedürfnis hätte *Mayer* in der Sektion für Psychiatrie auch einen Vortrag vom Direktor Dr. *Zeller* in Winnenthal über „Gegenstände der gerichtlichen Psychiatrie in Anknüpfung an den heutigen Vortrag des Herrn *Roller*“ hören können.

Der Professor der Chemie an der Universität Basel, *Christian Friedrich Schönbein* aus Metzingen in Württemberg, welcher ebenfalls an der Naturforscherversammlung teilgenommen hatte, besuchte *Mayer* bald darauf in Heilbronn und mit Brief vom 13. November 1858 sandte er ihm das erste äussere Zeichen der Anerkennung, ein Diplom als korrespondierendes Mitglied der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel. *Schönbein* schrieb dabei: „Es wird kaum meiner ausdrücklichen Versicherung bedürfen, dass die hiesige Naturforschende Gesellschaft Sie einstimmig zu ihrem Mitglied ernannt hat. Leider war es das einzige ihr zu Gebot stehende Mittel, wodurch sie bezeugen konnte, dass sie auf Ihre wissenschaftlichen Arbeiten über die Wärme einen hohen Wert legt, und ich bitte Sie im Namen des Vereins, diesen schwachen Ausdruck seiner Gesinnungen gegen Sie freundlich entgegen zu nehmen. Ich hoffe zuversichtlich, dass die Zeit nahe sei, wo auch die übrige wissenschaftliche Welt Ihnen diejenige Anerkennung zollen wird, welche sie Ihnen längst schuldet.“

Im nächsten Jahre wurde *Mayer* auf Vorschlag des Physikers *Eduard Reusch* zum Doctor honoris causa der philosophischen Fakultät zu Tübingen und auf Vorschlag des schon 1841 von ihm zu Rate gezogenen Physikers *Gustav Jolly* zum korrespondierenden Mitglied der königlich bayrischen Akademie der Wissenschaften zu München ernannt [1]).

40.

Das „Archiv der Heilkunde“, welches seit 1860 die Fortsetzung des „Archivs für physiologische Heilkunde“ bildete, ent-

---

[1]) Näheres über die Auszeichnungen *Mayers* siehe „Kleinere Schriften und Briefe“, XVII.

hielt in diesem Jahrgang einen Aufsatz von *Wunderlich*, „Vorlegung einiger Elementarthatsachen aus der praktischen Krankenthermometrie und Anleitung zur Anwendung der Wärmemessung in der Privatpraxis“, in welchem die Notwendigkeit und Möglichkeit vertreten wurde, die bis dahin auf eine Anzahl Hospitäler beschränkten thermometrischen Krankenbeobachtungen als Hilfsmittel der Krankheitsbeurteilung auch in die Privatpraxis einzuführen. Darin war unter andrem folgendes bemerkt:

„Bei der Mannigfaltigkeit der Wärmeproduktoren im menschlichen Körper und bei dem kaum zu bezweifelnden Wechsel ihrer Leistungen zu verschiedenen Zeiten und unter verschiedenen Umständen, andrerseits bei dem fortwährenden, aber gleichfalls nach Umständen schwankenden Stattfinden von Abkühlung ist die Erhaltung einer gleichförmigen Eigenwärme im gesunden Körper eine der wunderbarsten Thatsachen. — Das Facit, das mit so unerschütterlicher Beständigkeit aus dem Konflikte der wechselnden Einnahmen und Ausgaben hervorgeht, hat bis jetzt noch niemand durch Rechnung zu finden vermocht oder auch nur versucht. — Bei diesem Zustande der physiologischen Wärmelehre ist an eine rationelle Begründung der pathothermischen Erfahrungen gar nicht zu denken. Wir müssen uns bescheiden, durch Beobachtungen festzustellen, was geschieht, ohne die eigentlichen Bedingungen dieses Geschehens im mindesten zu kennen.“

In den Jahrgängen 1861 und 1862 des Archivs berichtete *Wunderlich* über die Resultate seiner thermometrischen Beobachtungen für die Beurteilung einzelner Krankheitsformen (Typhus und Pneumonie).

Diese Abhandlungen dürften die Veranlassung zu einem Aufsatze *Mayers* „Ueber das Fieber“ gewesen sein, in welchem derselbe seine schon 1845 publizierten Anschauungen über die Wärmeökonomie des Tierkörpers in Erinnerung brachte und speciell das Fieber als eine Störung des normalen Verhältnisses zwischen Erzeugung und Ausgabe von Wärme und Arbeit behandelte.

Mayer sandte den Aufsatz an Professor *Vierordt* in Tübingen für das Archiv, welches damals unter Mitwirkung von *Wunderlich*, *Roser*, *Griesinger* und *Vierordt* von Professor *Wagner* in Leipzig redigiert wurde. Am 21. März 1862 schrieb *Vierordt* an *Mayer*, er habe dessen treffliche Arbeit dieser Tage an *Wunderlich*

(in Leipzig) geschickt. „Sie fordern mich auf, etwaige Bedenken, Zusätze und dergl. Ihnen mitzuteilen. Der Gegenstand ist zu umfassend, als dass mit ein paar Bemerkungen etwas wesentliches erreicht wäre; ich habe mir bloss erlaubt zu corrigieren 1) das Citat „*Vierordts* Archiv“ in „dieses Archiv“ und 2) — wodurch der Sinn Ihrer Worte nicht im geringsten alteriert wird — die Oxydation habe ich in die Gewebe vorzugsweise verlegt, während Sie das Capillarblut selbst als Hauptoxydationsherd bezeichneten.“

In letzterer Beziehung hatte aber *Mayer* längst entschieden Stellung genommen [1]), welche auch in dem Aufsatze „Ueber das Fieber“ beibehalten ist. Derselbe erschien im Jahrgang 1862 S. 385—394 des Archivs der Heilkunde und ging ohne Aenderung in die „Mechanik der Wärme“ über.

---

[1]) Siehe die Briefe an *Griesinger* vom 30. November 1842 und 14. Juni 1844, „Kleinere Schriften und Briefe“, VII 1, 8, sowie oben S. 101 und auch den später folgenden Aufsatz X von 1871.

VI.

Ueber das Fieber.

Ein iatromechanischer Versuch.

Quo teneam vultus mutantem Protea nodo?
Hor.

(Archiv der Heilkunde, Leipzig 1862.)

Die Naturlehre hat in neuerer Zeit durch die Auffindung des Gesetzes „von der Unzerstörbarkeit der Kraft“ eine wesentliche Bereicherung erhalten. (Man vergleiche hierüber u. a. *Revue des deux mondes: Sur l'esprit de la*
1 *physique moderne. Août 1858.*) Es sagt dieses Gesetz im wesentlichen: dass die Wärme, die Bewegung (d. h. die sogenannte lebendige Kraft oder „Arbeit“ der Mechaniker), sowie das Licht und die Elektrizität, verschiedene Erscheinungsformen eines und desselben unzerstörlichen, messbaren Objektes sind, so dass z. B. Bewegung in Wärme und diese wieder in jene sich verwandeln lässt, wobei in jedem Falle die ins Spiel gesetzte *quantitas vis* konstant bleibt. Hiernach ist die Wärme als *Imponderabile* zugleich auch eine Kraft, die Bewegung als (lebendige) Kraft ein *Imponderabile,* oder allgemein: Kräfte und Imponderabilien sind synonyme Begriffe.

Der Verfasser hat es versucht, mit Zugrundelegung dieses physikalischen Prinzips physiologische Lehrsätze zu gewinnen und hat hierüber, namentlich unter Benützung der Schrift *Liebigs:* Die organische Chemie in ihrer Anwen-

dung auf Physiologie und Pathologie 1842, eine kleine Broschüre veröffentlicht unter dem Titel: Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel. Heilbronn 1845. Da aber bei dem Leser dieser Zeilen eine Bekanntschaft mit diesem Schriftchen nicht vorausgesetzt werden darf, so müssen die dort niedergelegten Grundlinien des physiologischen Lebensprozesses, soweit sie zum Verständnis des weiteren erforderlich sind, hier kurz wiederholt werden.

Denken wir uns einen gesunden, kräftigen Mann von mittlerem Alter, dessen leiblicher Organismus bei allem Wechsel der Lebenserscheinungen Tage, Wochen, Monate, Jahre lang als eine im ganzen unveränderliche Grösse betrachtet werden kann. Der Körper dieses Mannes produziert fortwährend Wärme, welche an die niedriger temperierte Umgebung wieder abgesetzt wird; zugleich liefert derselbe aber auch Tag für Tag eine gewisse Quantität von mechanischer Arbeit oder lebendiger Kraft der Bewegung, welche man beim fleissigen Arbeiter dem siebenten Teil einer Pferdekraft gleichsetzt. Nun lässt sich aber diese mechanische Leistung unseres Mannes durch Reibung, Stoss, Luftcompression in Wärme umsetzen, und es ist eben wiederum diese mittelbar entwickelte Wärme das Aequivalent oder das Mass der gelieferten Arbeit. Rechnen wir nun die vom Körper an die Umgebung abgesetzte unmittelbare und diese letztere mittelbar produzierte Wärme zusammen, so ist diese Kraftsumme das Mass oder das Aequivalent eines chemischen Effekts, der gleichzeitig in dem lebenden Körper vor sich 2 geht. Die Lungen nehmen elektronegativen Sauerstoff, der Magen dagegen nimmt in Form von Speisen und Getränken elektropositive Stoffe auf, und das Endresultat einer Reihe von Lebenserscheinungen ist die Ausscheidung dieser zuvor chemisch getrennten Stoffe in verbundenem oder verbranntem Zustande.

Es ist hier mit der Kraft wie mit dem Stoffe. Wenn wir unseren Mann in dem Zwischenraume von acht Tagen zweimal abwägen und sein Körpergewicht unverändert fin-

den, so schliessen wir daraus, dass derselbe genau soviel Materie von der Aussenwelt aufgenommen als wieder an dieselbe abgegeben hat. Ebenso, wenn der Körper trotz der Kraftabgabe unverändert erhalten werden soll, so muss die Grösse des ihm vorgehenden Verbrauchs, oder der thermische Effekt des im Körper vor sich gehenden chemischen Prozesses das Aequivalent sein für die Summe der auf unmittelbare und mittelbare Weise entwickelten Wärme.

Mit Berücksichtigung bekannter physiologischer Verhältnisse stellt sich nach dem Bisherigen der Respirations- und Zirkulationsprozess auf folgende Weise dar. In den Lungen nehmen die Blutkörperchen eingeatmeten Sauerstoff in sich auf und führen denselben als Oxygeniphoren durch den Körper. Unter dem Kontakteinflusse der Capillargefässe und dem Einflusse des Nervensystems aber tritt dieser Sauerstoff mit elektropositiven Bestandteilen des *liquor sanguinis* in chemische Verbindung, und durch diesen Oxydationsakt wird die animalische Wärme, beziehungsweise die organische Bewegung produziert. „Das Blut, eine langsam brennende Flüssigkeit, ist das Oel in der Flamme des Lebens“ (S. 101). Während Wärme an und für sich bei jedem Oxydationsprozesse entsteht, so ist der Tierkörper mit spezifischen Organen, der kontraktilen Muskelfaser ausgerüstet, welche von arteriellem Blute durchsetzt wird, und diese Fähigkeit der Muskeln, chemischen Effekt in mechanische Arbeit umzusetzen, heisst bekanntlich Irritabilität.

In der praktischen Mechanik, in der Technologie, pflegt man die Leistung der Bewegungsapparate, der Motore, als Nutzeffekt in Prozenten des Gesamtverbrauchs zu berechnen und auszudrücken. Hat man z. B. eine Wassergasse, in welcher das Produkt aus der einlaufenden Wassermasse in die Fallhöhe 50 Pferdekräfte repräsentiert, und wird dadurch ein Rad, das die Arbeit von 15 Pferden verrichtet, umgetrieben, so liefert dieses Werk 30 % Nutzeffekt. Auf gleiche Weise lässt sich die Leistung von Dampfmaschinen, von Geschützen und von arbeitenden

Tieren und Menschen in Prozenten des stattfindenden Verbrauchs ausdrücken. Berechnungen dieser Art machen aber die Kenntnis des mechanischen Aequivalents der Wärme, das die einer gewissen Menge von Wärme entsprechende Arbeitsgrösse angibt, erforderlich. Mit Hilfe dieser konstanten Zahl habe ich in meiner erwähnten Schrift (S. 85 und 86) den Nutzeffekt des Pferdes und des Arbeiters zu etwa 16 bis 17 % berechnet und ebendaselbst (S. 84 und 114 u. f.) auch auf den zwischen der unmittelbaren Wärmebildung und der mechanischen Leistung notwendig stattfindenden Antagonismus hingewiesen. Je mehr nämlich bei gleichem Verbrauche Arbeit geliefert wird, desto weniger wird unmittelbare Wärme gebildet, wie auch umgekehrt wieder die Wärmebildung auf Kosten der Arbeit erfolgt.

Wenn der Organismus erkrankt, so ist eine Verminderung des mechanischen Nutzeffekts das allgemeinste und am meisten in die Augen springende Symptom, und es wird auch wohl im allgemeinen der Grad dieser Verminderung als Massstab für die Stärke der Erkrankung zu betrachten sein. In einer grossen Klasse von Krankheiten treten zugleich augenfällige Veränderungen in der Wärmeproduktion, Zirkulation, Respiration und Digestion auf — ein Symptomenkomplex, den man mit dem Kollektivnamen „Fieber“ bezeichnet. Bei dem dermaligen Stande der Hilfswissenschaften, der Chemie, Physik und Physiologie ist aber die allgemeine Pathologie noch weit entfernt eine induktive Wissenschaft zu sein, wo sich die Einzelerscheinungen und Symptome in gesicherter Weise auf Prinzipien zurückführen liessen. „Gewiss ist noch für lange Zeit keine Aussicht vorhanden, dass es gelingen werde, die richtige Erklärung der krankhaften Zustände aufzufinden. Leichter wird man eine Quinterne treffen, als eine Reihe verwickelter Naturprozesse durch Suppositionen erraten“ (S. 96). Dies soll uns indessen von dem Versuche nicht abhalten, hierauf wenigstens einige Streiflichter zu werfen.

Die Verminderung der Arbeitsproduktion ist, wie wir

soeben gesehen, ein konstantes Symptom der Erkrankung im allgemeinen und der fieberhaften Erkrankung insbesondere. Während ein gesunder fleissiger Arbeiter Tag für Tag ungefähr den sechsten Teil des Gesamtaufwandes von chemischem Effekt in mechanische Arbeit umsetzt, wird bei schwerer Erkrankurg diese letztere Grösse, oder der Nutzeffekt, bis auf Null reduziert, und somit der ganze chemische Aufwand nur zur Wärmebildung verwendet. Auch bei Convulsionen und maniakalischen Anfällen produziert das Muskelsystem viel weniger mechanische Arbeit, als bei gesunder Thätigkeit.

„In Beziehung auf die Quantität einer mechanischen Leistung ist man leicht grosser Täuschung unterworfen. Diesen Umstand wissen die Jongleurs zu benützen und sich durch Gewandtheit den Anschein grosser Kraftentwickelung zu geben. Auch bei der Betrachtung krankhafter Zustände kann man leicht, durch das Schreckenerregende etc. irregeleitet, auf grosse mechanische Leistung da schliessen, wo nur ein geringer oder gar kein Effekt produziert wird. Die Kraftentwickelung ist während furibunder Delirien gewiss nie so bedeutend, als bei einer angestrengten physiologischen Thätigkeit. Der Gesamteffekt, den der Epileptische während des Anfalles produziert, kann nur sehr gering sein. Die Leistung der Kaumuskeln im Trimus ist = Null; ebenso die Leistung der Gesamtmuskulatur in der Totenstarre“. (S. 126 Anmerkung.)

Anders als mit der Thätigkeit der willkürlichen Muskeln verhält es sich aber mit der Herzleistung. Denn bei fieberhaften Erkrankungen findet bei weitem in der Mehrzahl der Fälle eine anhaltende Beschleunigung der Herzkontraktionen statt, und dabei ist gar oft der Puls zugleich voll und gespannt, woraus dann auch auf eine erhöhte Energie der einzelnen Kontraktionen geschlossen werden muss. Da nun die Grösse der mechanischen Leistung des Herzens für eine gewisse Zeit, z. B. für 1 Minute (vergl. meine „Organische
3 Bewegung“ S. 88, und Archiv für physiologische Heilkunde 1851, S. 512) durch das Produkt aus der Zahl der Schläge in die Grösse der Einzelleistung gemessen wird, so folgt daraus, dass das Herz bei fieberhaften Erkrankungen oftmals weit mehr als im Normalzustande leistet. Es sei z. B.

bei einem Fieberkranken sowohl die Anzahl der Herzschläge, als auch die Stärke der Einzelleistung (d. h. der Effekt der Systole) je um 1/3 vermehrt, so verhält sich in diesem Falle die Herzkraft im gesunden Zustande zu der im kranken = 9 : 16, und wenn also die Herzarbeit eines gesunden Mannes etwa auf 1/125 Pferdekraft anzuschlagen ist, so wäre sie in vorgedachten Krankheitsverhältnissen auf 1/70 Pferdekraft gesteigert. In vielen andern Fällen ist aber zwar die Frequenz erhöht, die Energie dagegen vermindert, woraus sich ergibt, dass bei Fieberkranken (in sogenannten asthenischen Fiebern) die Totalleistung des Herzens weit unter den Normalstand sinken kann. In der Agonie hat die Frequenz gewöhnlich ihr Maximum erreicht, während die Energie auf ein Minimum herabgedrückt ist. Hier ist aber auch die Totalleistung des Herzens gewiss im Verhältnis zur gesunden Thätigkeit nur sehr gering, im Erlöschen begriffen; woraus wir zu schliessen haben, dass der zweite Faktor der Herzkraft, die Energie, in viel grösserem Massstabe vermindert, als der erste Faktor, die Frequenz, erhöht ist.

Was nun die Wärmeverhältnisse im fieberhaft erkrankten Organismus im Gegensatze zum gesunden Zustande betrifft, so ist hier sowohl die subjektive Wärmeempfindung des Kranken, als auch die wirkliche Temperatur des Fieberkörpers bald vermindert, bald vermehrt. Das erstere, die subjektive Wärmeperzeption des Kranken betreffend, so kann dieselbe bekanntlich mit den objektiv oder thermometrisch wahrnehmbaren Wärmeverhältnissen im Widerspruche stehen und ist diese Wahrnehmung als eine spezielle Erscheinung des gestörten Gemeingefühls offenbar in einer Alteration des sensiblen Nervensystems begründet. Die zweite Erscheinung, die objektive Temperaturveränderung des fieberkranken Organismus, kann ihren Grund nur in einer Veränderung des die Wärme erzeugenden Blutverbrennungsprozesses und einem dadurch herbeigeführten Missverhältnisse zwischen Wärmeerzeugung und Wärmeabgabe haben. Im gesunden Zustande ist der Kraft liefernde Oxydationsakt bekanntlich so reguliert, dass sich die Wärmeerzeugung

genau nach dem durch die äusseren Umstände bedingten Wärmeverlust richtet, wodurch die konstante Temperatur der warmblütigen Geschöpfe ermöglicht und erzielt wird. (Vergl. Organische Bewegung S. 105 u. f.) In der Kälte und bei der Arbeit ist also der chemische Prozess im Organismus viel lebhafter, als in warmer Luft und in der Ruhe. Diese Regulierung des chemischen Prozesses, d. h. diese Akkomodation der Wärmerzeugung an die sich nach den äusseren Verhältnissen richtenden Bedürfnisse des Organismus ist nun im Fieber wesentlich gestört. So geschieht es zum Teil, dass die Wärme beim Fieberkranken trotz hoher Temperatur der umgebenden Luft, trotz warmer Getränke und der dichtesten Umhüllungen sich vermindert zeigt, wobei die Herabdrückung des durch die Lungen vermittelten chemischen Prozesses als Brustoppression sich subjektiv bemerklich macht, während andernteils wieder bei kühler Luft und leichter Bedeckung Hitze eintritt, wo dann aber auch bei beschleunigtem Atem die Brust wieder freier wird. Während hier die Wärmeentwickelung des fieberkranken Körpers eine regelwidrige Selbständigkeit und Unabhängigkeit von der durch die äusseren Umstände bedingten Wärmeabgabe zeigt, so manifestiert sich hinwiederum in vielen anderen Fällen die gestörte Regulation des Wärme erzeugenden chemischen Prozesses durch eine gesteigerte Abhängigkeit des ersten der genannten Faktoren vom zweiten. Deckt sich der Kranke warm zu, so gerät er in Hitze, wenn er sich's aber leichter macht, so erkaltet er. Eine Gleichgewichtsstörung ersterer Art beobachten wir bei *Febris intermittens*, die der zweiten Art bei *Febris continua* und *remittens*.

Die Quantität der vom menschlichen Körper in einer gewissen Zeit, z. B. in 24 Stunden, entwickelten Wärme lässt sich nicht wohl durch direkte Versuche auch nur annäherungsweise bestimmen. Es ist diese Grösse bei einem gegebenen Individuum eine Funktion von der Temperatur und dem Feuchtigkeitsgrade der allgemeinen Bedeckungen, von der Beschaffenheit der künstlichen Umhüllungen, von

der Temperatur, der Bewegung und dem Feuchtigkeitsgrade des umgebenden Mediums und von der Quantität und Qualität der ein- und ausgeführten Stoffe. Da nun alle diese Faktoren auch unter völlig physiologischen Verhältnissen grossen Veränderungen unterworfen sind, so ist natürlich auch die von einem Individuum an die Umgebung abgesetzte Wärme eine sehr variable Grösse, auf welche wir nur von der Grösse des stattfindenden chemischen Prozesses aus einen Schluss ziehen können.

Versuche haben nun gezeigt, dass die Kohlensäureproduktion, welche wir als Massstab für den stattfindenden chemischen Effekt annehmen, in fieberhaften Zuständen bisweilen wirklich vorübergehend über das mittlere Mass erhöht ist. Im ganzen genommen und auf den Tag berechnet, ist aber gewiss der chemische Effekt beim Fieberkranken — wie in der Krankheit überhaupt — stets unmerklich geringer, als bei dem unter normalen Verhältnissen sich bewegenden Individuum. Grösser ist die Kohlensäure- und Wärmeproduktion bei aktivem, sthenisch-entzündlichem, als bei passivem, asthenischem Fiebercharakter. In jedem Falle aber ist im fieberkranken Organismus die Regulation des chemischen Prozesses gestört. Während beim Gesunden die Kohlensäureproduktion nach den Bedürfnissen des Körpers sich richtet, muss der Kranke seine Ausgaben an Wärme und mechanischer Arbeit dem stattfindenden chemischen Prozesse anpassen.

Man hat den Umstand der bei Fieberkranken gefundenen, mit erhöhter Hauttemperatur gleichzeitig stattfindenden Verminderung der Kohlensäureproduktion als Einwurf gegen die Theorie *Lavoisiers* geltend gemacht, welche die tierische Wärme ausschliesslich als Produkt des chemischen Effekts darstellt. Dabei hat man aber nicht bedacht, dass die Temperatur der Hautoberfläche für sich allein keineswegs ein Massstab für die vom Körper erzeugte und abgegebene Wärme ist. Denn abgesehen von der mechanischen Leistung, oder der auf indirektem Wege erzeugten Wärme, welche, wie wir oben gesehen haben, ebenfalls auf Kosten

der Blutverbrennung geht, und welche beim Schwerkranken ganz fehlt, wo also der ganze chemische Prozess zur direkten Wärmebildung verwendet wird, so hat der Fieberkranke viel mehr das Bedürfnis, seine Wärme zusammenzuhalten, als im gesunden Zustande. Kann er dem nicht entsprechen, so tritt statt Hitze Frost ein. Dass dieses nach Umständen zum Heil des Kranken dienen kann, ist keine Einwendung gegen das Gesagte.

Noch verdient die aus der Herzthätigkeit resultierende Wärmeentwickelung Erwähnung. Es ist klar, dass die vom Herzen gelieferte mechanische Arbeit, welche zur Ueberwindung der Widerstände, welche das Blut auf seinem Wege findet, verwendet wird, sich im Organismus in Wärme umsetzt, und es lässt sich die Quantität dieser Reibungswärme, wenn man die Grösse der Herzkraft kennt, mit Hilfe des mechanischen Aequivalents der Wärme leicht bestimmen. Da aber die Herzaktion lediglich aus dem chemischen Effekt entspringt, den das von den Kranzarterien dem Herzen zugeführte Blut liefert, so ist auch die in physiologischen sowohl als pathologischen Verhältnissen aus der Herzaktion resultierende Wärme, wie die Körperwärme überhaupt, auf Rechnung der Blutverbrennung zu bringen und stellt insofern keinen besonderen Posten im Budget des Lebensprozesses dar.

Nachdem wir gesehen haben, dass im Fieber die Regulation der Wärmeentwickelung und der damit aufs engste verknüpften Kohlensäureproduktion gestört ist, so ist schon hieraus auf eine Veränderung der chemischen Beschaffenheit der Säftemasse, also in erster Linie des Blutes, zu schliessen. Bekanntlich haben dies auch Beobachtungen längst nachgewiesen, und namentlich ist es der Faserstoff, der sich in fieberhaften Krankheiten bald auffallend vermehrt, bald vermindert zeigt, — ein Umstand, der für den Charakter und die Behandlung der Pyrexien von Wichtigkeit ist.

Die chemische Analyse vermag uns aber nach dem dermaligen Stande der Naturwissenschaften über die vitalen Prozesse keineswegs den nötigen Aufschluss zu geben. Fassen

wir einen mechanischen Prozess, z. B. das Herabfallen eines Gewichts auf den Erdboden, ins Auge, so lässt sich sowohl der von dem Gewichte beschriebene Raum, als auch die von dem Gewichte auf jedem Punkte seines Weges erlangte Geschwindigkeit mathematisch konstruieren. Die Chemie dagegen, die Mechanik der Moleküle, hat es in jedem Falle mit einer unendlich grossen Anzahl einzelner Massenteile, den sogenannten Atomen zu thun, die von der unmittelbaren 4
Berührung aus aufeinander zu wirken beginnen und sich dabei in unmessbar kleinen Räumen bewegen. Es vermag uns deshalb diese Wissenschaft bis jetzt nur die Endpunkte solcher Aktionen vor die Augen zu führen; das aber — worauf es eigentlich ankommt — was w ä h r e n d der Aktion zwischen den unendlich vielen und unendlich kleinen Massenteilen in unendlich kleiner Zeit vorgeht, ist uns leider völlig verborgen, und dies ist denn auch der Grund, warum uns bei den Lebensvorgängen die Chemie im Stiche lässt. Bedenken wir, dass die Chemie als Wissenschaft von *Lavoisier* an gerechnet noch kein volles Jahrhundert zählt, so werden wir wohl hoffen dürfen, dass das „*Nihil hominibus arduum est*“ auch hier in Erfüllung gehen wird und dass mit der Zeit Schwierigkeiten überwunden werden, die uns dermalen als ganz unübersteiglich erscheinen.

Uebrigens verweise ich, was die Rolle betrifft, welche das Blut im Organismus spielt, auf meine mehrerwähnte Schrift: Die organische Bewegung. Es ist nun auf keine Weise zu bezweifeln, dass dieser Blutverbrennungsprozess, welcher, wie oben gezeigt worden, die Bedingung jedweder organischen Kraftentwickelung ist, im Fieber auf eine vom Normalzustande abweichende Weise vor sich geht, und wir können nicht umhin, eben diese Störung des gesunden Blutumsetzungsprozesses als wesentlichen Faktor derjenigen Krankheitserscheinungen zu betrachten, die man mit dem Kollektivnamen „Fieber“ zu bezeichnen pflegt. Sehen wir doch auch, dass die Verbrennungen in den Oefen, in den Lampen u. s. w. die mannigfaltigsten Störungen erleiden können. Zwischen dem, die Gesundheit bedingenden nor-

malen Vorgange und zwischen dem Verwesungsprozesse liegt eine grosse Breite und innerhalb derselben bewegen sich die chemischen Prozesse in den krankhaften Zuständen, *in specie* in den Fiebern. Ist uns aber der menschliche Mikrokosmus schon im gesunden Zustande das Rätsel der Sphinx, so geraten wir vollends bei der Betrachtung der krankhaften Vorgänge in ein Meer von Fragen und Wundern.

In meiner Schrift „die organische Bewegung“ habe ich mich über die Veränderungen, welche die Säftemasse im gesunden und auch im kranken Zustande erleidet, mehrfältig ausgesprochen.

S. 91. „Wenn wir ein gesundes Tier töten und wenige Tage nachher das Kadaver in rascher Selbstentmischung finden, so können wir uns allerdings veranlasst sehen, naturphilosophische Reflexionen über die Energie der Lebenskraft, die im stande war, den mächtigen Prozess der Fäulnis zu verhindern, anzustellen; in Wahrheit laufen wir aber bei solchen Meditationen Gefahr, einen Spinnenfaden mit einem Kabeltau zu verwechseln. Ein andres ist es, der Entstehung einer Feuersbrunst zuvorzukommen, ein andres, dem entfesselten Elemente Schranken zu setzen. In den ersten Minuten oder Stunden nach dem Tode ist die Neigung zur Selbstentmischung (und dieser Neigung entspricht in dem mechanischen Prozesse des Fallens die Anziehung) eine sehr geringe; sie wächst durch ihre eigene Wirkung, durch die Anwesenheit der putrefizierten Stoffe; in dem lebenden Organismus ist diese Neigung nach mathematischen Gesetzen kleiner noch, als in der Minute nach dem Tode, im Leben ist die Neigung zur Fäulnis ein verschwindend Kleines, die Kraft, welche wir dieser Neigung entgegenzusetzen haben, ist deren Grösse proportional, sie ist verschwindend klein, sie ist Null.“

„Ein Fass voll frisch ausgepressten Traubensaftes wird bei mässiger Wärme und bei Anwesenheit von etwas Sauerstoff binnen kurzer Zeit in volle Gärung geraten; angenommen aber, es liesse sich die Einrichtung treffen, dass die Gärungsprodukte im Momente ihrer Bildung stets wieder entfernt würden (wie dieses durch ein fortwährendes Filtrieren der ganzen Masse teilweise geschehen könnte), so wäre mittelst eines geringen täglichen Zusatzes von frischem Traubensaft das Fass beständig voll von süsser, gärungsfähiger Masse zu erhalten. Eine allgemeine Gärung würde, so lange die Ab- und Zufuhr regelmässig fortdauert, nimmermehr zu stande kommen.“

„Zahlreiche Apparate sind nun im lebenden Tier unausgesetzt beschäftigt, zu filtrieren, zu aspirieren, die chemischen Prozesse, zum Teil unter Aufwand von mechanischer Kraft, zu regeln, die Intensität

dieser Prozesse zu erhöhen, ihre Extensität zu vermindern, die Zersetzungsprodukte in abgesonderten Räumlichkeiten niederzulegen und sie sofort zu entfernen, vor allem aber der Bildung und Ansammlung putrider Fermente vorzubeugen."

Ferner S. 93. „Wenn stagnierende Flüssigkeiten in Berührung mit lebendigen Gebilden sich lange Zeit unverändert erhalten, während sie ohne solche Berührung unter sonst gleichen Umständen sich entmischen würden, so müssen wir daraus schliessen, dass die festen Teile durch Sekretion und Absorption einen Einfluss ausüben, durch welchen diese Flüssigkeiten nach rein chemischen Gesetzen in ihrer Mischung erhalten werden. Man erinnere sich hier an das, was kurz zuvor von einem Süssbleiben des gärungsfähigen Weinmostes beispielsweise erwähnt wurde. Diese notwendige Annahme einer absorbierenden und secernierenden Thätigkeit der eine solche Flüssigkeit umgebenden Fläche steht mit bekannten anatomischen, physiologischen und pathologischen Verhältnissen im Einklange."

„Die flüssigen Materien besitzen, ihrer verschiedenen chemischen Beschaffenheit nach, eine sehr verschieden grosse Neigung zur Selbstentmischung; die Milch, der Wein, ein fettes Oel, der absolute Alkohol verhalten sich in dieser Beziehung höchst ungleich. Je reicher an organischen Bestandteilen die im Körper eingeschlossene Flüssigkeit ist, um so grösser wird im allgemeinen auch ihre Zersetzungsneigung sein. Die Wechselwirkung zwischen den umschliessenden Festteilen und der eingeschlossenen Flüssigkeit, oder die absorbierende und secernierende Thätigkeit der Höhlenwandung muss um so grösser sein, je grösser die Zersetzbarkeit der eingeschlossenen Materie ist. Da nun diese Thätigkeit wiederum mit dem Gefässreichtum der betreffenden Teile im Verhältnisse steht, so muss folglich die Zersetzbarkeit des Exsudats in Proportion stehen mit der Vaskulosität der umkleidenden Membran."

„Die Zersetzbarkeit und Vasculosität ist im Minimum vorhanden bei den normalen Flüssigkeiten des Auges, dem *Humor aqueus et vitreus* und den entsprechenden Umhüllungen. Gering sind ferner beide in vielen hydropischen Ausschwitzungen, Sackwassersuchten, bei der Hydrocele. Wenn nach wiederholter Paracentese der Bauch- oder Brusthöhle das Exsudat reicher wird an organischen Stoffen, so verdickt sich auch gleichzeitig die seröse Haut und wird blutreicher. Die Galle und die leicht zersetzbare Milch sind von gefässreichen Schleimhäuten umgeben, sie können sich bei fehlender Exkretion lange unzersetzt erhalten. In ihrem anatomischen und physiologischen Verhalten sind den Schleimhäuten die Abscesswandlungen ähnlich. Nach Oeffnung des Abscesses erhält der atmosphärische Sauerstoff Zutritt zu der angesammelten eitrigen Flüssigkeit, wodurch die Tendenz zur Entmischung ohne Zweifel gesteigert wird; zur Verhütung der

fauligen Zersetzung muss der Blutreichtum der Abscesswandungen und die Wechselwirkung zwischen festen und flüssigen Teilen gesteigert werden. Man erinnere sich an die Operation des Empyems, an die Eröffnung grosser lymphatischer Abscesse, an die des Psoasabscesses.

„Hat der örtliche pathologische Prozess eine Zeitlang gedauert, hat er eine gewisse Ausdehnung erhalten, so teilt er, wie die Erfahrung lehrt, der ganzen Säftemasse eine Zersetzungstendenz mit; die normwidrige Veränderung, welche ein Teil des Blutes in den Abscesswandungen fortwährend zu erleiden hat, um die faulige Zersetzung des Eiters zu verhindern, wird nach erlangter allgemeiner Ausbreitung zum Konsumtionsfieber.“

Während nun bei den hektischen Fiebern, wie bei vielen Entzündungen, seien dieselben reiner oder spezifischer Natur, die örtliche Säfteverderbnis, dem System von *Broussais* gemäss, sich auf den Gesamtorganismus reflektiert, so treten umgekehrt bei den exanthemathischen, rheumatischen und typhösen Fiebern örtliche Konzentrationen infolge einer schon zuvor entwickelten allgemeinen Blutveränderung auf.

Aber auch noch eine dritte Klasse von Fiebern gibt es, bei welchen weder eine ursprünglich lokale Kakochymie allgemein wird, noch eine allgemeine Kakochymie die lokale nach sich zieht, nämlich die Wechselfieber. Es sind dieses Pyrexien, bei denen wenigstens nicht pathognomonisch notwendig lokole dyskrasische Prozesse entweder veranlassend oder konsekutiv auftreten. Diese Gattung von Fiebern würde ich gerne Nervenfieber nennen, wenn nicht, namentlich von der Laienwelt, dieser Ausdruck längst schon in anderer Bedeutung verwendet wäre.

Anmerkungen des Herausgebers.

1. Der Aufsatz „De l'esprit de la physique moderne“ von *August Langel* befindet sich im ersten Septemberhefte der Revue des deux mondes von 1858. *Mayer* ist darin nicht erwähnt, wohl aber bemerkt: „Le premier physicien quit ait cherché à constater expérimentalement la

loi de l'équivalence de la chaleur et du travail dynamique est M. le professeur *Joule* d'Edimbourg."

2. Näheres oben S. 245 u. f.

3. Oder oben S. 298. S. 88 und die weiteren Citate der „Organischen Bewegung" beziehen sich schon auf deren Abdruck in der „Mechanik der Wärme".

4. In betreff der Ansicht *Mayers* über „Atome" siehe oben S. 267.

5. Vergl. auch den Aufsatz XIII „Ueber Auslösung".

Robert Mayer.

41.

Wir haben gesehen, dass um den Beginn der sechziger Jahre die Lehre von der Aequivalenz von Wärme und Arbeit und von der Erhaltung der Energie bereits in allen Naturwissenschaften Eingang gefunden hatte, dass *Mayers* Priorität in betreff derselben im allgemeinen zugegeben wurde und auch einige äussere Anerkennungen ihm geworden waren. Allein aus den meisten einschlagenden Darstellungen hörte man doch nur heraus, dass ein deutscher Arzt, *J. R. Mayer* in Heilbronn, zuerst das neue Gesetz klar ausgesprochen oder eine richtigere Vorstellung über das Wesen der Naturkräfte vertreten habe, welche dann „durch die sich daran knüpfenden Forschungen der ausgezeichnetsten Physiker und Mathematiker eine kaum geahnte Bedeutung erlangt“ hätten *(Liebig)*. Dass *Mayer* selbst die neuen Anschauungen in umfassender Weise auf Physik, Physiologie, Astronomie angewandt hatte, und fast alles Wesentliche der gangbaren Darstellungen über die Erhaltung der Energie u. s. w. schon in seinen Aufsätzen von 1842—48 gefunden werden konnte, war nur den Wenigsten bekannt. Dies zeigte sich besonders drastisch im folgenden Falle[1]).

Im Jahre 1862 richtete der englische Physiker *John Tyndall*, Professor der Physik an der Royal Institution of Great Britain zu London, an den hervorragendsten Vertreter der analytischen Wärmetheorie auf *Carnot-Mayer*scher Grundlage (33), Professor *Rudolph Clausius* in Zürich, eine Anfrage in betreff der Schriften *Mayers*. Aber *Clausius* kannte nur den ersten Aufsatz desselben und gab zur Antwort, er glaube nicht, dass *Tyndall* sehr Er-

---

[1]) *Clausius*, Die mechanische Wärmetheorie, Braunschweig, II, 2. Auflage 1879, S. 325; I, 3. Auflage 1887, S. 395. — „Kleinere Schriften und Briefe“, XVIII.

hebliches in *Mayers* Schriften finden werde, doch wolle er versuchen, sie ihm zu verschaffen. „Als ich dann aber die Broschüren von dem Buchhändler in Heilbronn erhalten hatte und sie, bevor ich sie an *Tyndall* schickte, selber las, erkannte ich, dass ich mich geirrt hatte, und dass *Mayer* vielmehr die Mängel, welche anfangs seinen Vorstellungen noch angehaftet hatten, und welche bei einem praktischen Arzte, der zum erstenmale über einen mechanischen Gegenstand schrieb, sehr erklärlich waren, durch weitere eingehende Studien beseitigt hatte, und in diesen Schriften seine Ansichten mit Klarheit und Schärfe auseinander setzte und einen Ideenreichtum entwickelte, welchen man bewundern musste, selbst wenn man nicht mit allem dort Gesagten übereinstimmte. Ich nahm daher, als ich *Tyndall* die Schriften zusandte, meinen früheren Ausspruch zurück und hob dasjenige, was ich in den Schriften für besonders wichtig hielt, hervor.“

Nun hatte *Tyndall* anlässlich der internationalen Ausstellung von 1862 in der Royal Institution einen Vortrag vor einheimischen und fremden Notabilitäten der Wissenschaft zu halten, als Thema desselben wählte er die Lehren *Robert Mayers*. Nachdem er in fesselnder Weise über die Energie und ihre Wandlungen gesprochen hatte (6. Juni 1862), überraschte er seine Zuhörer mit der Bemerkung, alles was er vorgebracht, sei ganz selbständig ausgearbeitet worden durch einen deutschen Arzt, Dr. *Robert Mayer* in Heilbronn, dessen Namen ihnen wahrscheinlich unbekannt sei [1]). *Tyndall* fügte bei: „Wenn wir die äusseren Bedingungen von *Mayers* Leben, und die Zeit, in welcher er arbeitete, bedenken, so müssen wir staunen über das, was er vollbracht hat. Dieser geniale Mann arbeitete ganz in der Stille; nur von der Liebe zu seinem Gegenstande erfüllt, gelangte er zu den wichtigsten Resultaten, allen andern voraus, deren ganzes Leben der Naturforschung gewidmet war.“

42.

Das war eine entscheidende Wendung. Der *Tyndall*'sche Vortrag wurde viel besprochen und mehrfach gedruckt, und schon im nächsten Jahre erschien, auf gleichem Boden stehend,

---

[1]) Proceedings of the Royal Institution, 1862 June 6; *Tyndall*, Fragmente aus den Naturwissenschaften (Deutsche Ausgabe, Braunschweig 1874, S. 487).

das im besten Sinne populäre und doch weitgreifende Werk: *Tyndall*, Heat considered as a mode of motion, London 1863. Die Aufmerksamkeit der Physiker wandte sich den wieder entdeckten Aufsätzen *Mayers* zu, *Verdet*, *Hirn*, *Saint-Robert* und andre hoben die Verdienste desselben hervor, und da das allgemeine Interesse den neuen Lehren und ihren Anwendungen längst zugewandt war, so wurde bald der Name *Robert Mayers* einer der gefeiertsten im Gebiete der Wissenschaft, zahlreiche Gesellschaften sandten ihm ihre Auszeichnungen.

Mayer hatte von dem Eintreten *Tyndalls* zuerst durch einen Brief von *Clausius* Kenntnis erhalten und bald darauf auch gedruckte Mitteilungen von *Tyndall* empfangen [1]). Er schrieb alsdann an letzteren: „The hopes which in silence I ventured to cherish were more than fulfilled by the recognition, which you there accorded me. — Your kindness impresses me all the more from the fact of my having for many years been forced to habituate myself to a precisly opposite mode of treatement.“

Aber ungestraft sollte das *Tyndall* nicht hingehen. Zunächst hatte er seinen Standpunkt *Joule* gegenüber zu vertreten, sodann nahm die Sache eine überraschende Wendung. In der populären Zeitschrift „Good Words“, welche in London unter dem Motto: „Good words are worth much and cost little“ erschien, trat zwischen Artikeln über *Garibaldi*, die Prüfungspredigt, Liebesbande u. s. w. auch ein Aufsatz: „Energy, By Professors *William Thomson* and *P. G. Tait*“, an den Tag. Nachdem die Verfasser darauf hingewiesen hatten, dass es sich nicht etwa um Anregung zu männlichem Sport oder einem Leben steter Thätigkeit mit obligater Zensur für jede Art Trägheit und sinnliches Sich-gehen-lassen handle, bemühten sie sich, ihren Lesern eine Idee von der Energie und deren Erhaltung beizubringen. Als dieser Moment eingetreten schien, gab die Besprechung des mechanischen Wärmeäquivalents Veranlassung zu folgender Bemerkung: „The founder of the modern dynamical theory of heat, an extension immensely beyond anything previously surmised, is undoubtedly *Joule*“, welcher später folgendes beigefügt wurde.

„Curiously enough, although similar coincidences are common, while *Joule* was pursuing and publishing his investigations,

---

[1]) „Kleinere Schriften und Briefe“, XVIII.

there appeared in Germany a paper by *Mayer* of Heilbronn. Its title is „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“, and its date 1842. In this paper the results obtained by preceding naturalists are stated with precision — among them the fundamental one of *Davy* — new experiments are suggested, and a method for finding the dynamical equivalent of heat is propounded. On the strength of this publication an attempt has been made to claim for *Mayer* the credit of being the first to establish in its generality the principle of the Conservation of Energy. It is true that „La science n'a pas de patrie“ and it is highly creditable to British philosophers, that they have so liberally acted according to this maxim. But it is not to be imagined that on this account there should be no scientific patriotism, or that in our desire to do all justice to a foreigner, we should depreciate or suppress the claims of our own countrymen. And it especially startless us that the recent attempts to place *Mayer* in a position which he never claimed, and which had long before been taken by another, should have found support within the very walls wherein *Davy* propounded his transcendent discoveries.“

Die „Mauern, innerhalb welcher *Davy* seine erhabenen Entdeckungen darbot“, waren diejenigen, welche den Hörsaal *Tyndalls* umgaben. Bei Erwähnung der *Mayer*'schen Berechnung des Wärmeäquivalents wurde in einer Fussnote fälschlich behauptet, dass *Mayers* Aufstellungen die unterschiedslose Anwendung der zu Grunde liegenden Hypothese auf gasförmige, flüssige und feste Körper einschliesse, und dass er nur deshalb von der atmosphärischen Luft ausgegangen sei, weil nur für diese die betreffenden Zahlenwerte damals mit einiger Annäherung bekannt gewesen seien.

Auf diese Anklagen bei einem Publikum, welches zur Entscheidung wissenschaftlicher Fragen nicht sonderlich geeignet erschien, antwortete *Tyndall* im „Philosophical Magazine“ und es entstand nun ein Prioritätsstreit, welcher sich in dieser Zeitschrift durch zwei Jahre hinzog[1]), ohne bei dem „wissenschaftlichen Patriotismus“ der Gegner zu einem befriedigenden Abschlusse gelangen zu können. Da sich gezeigt hatte, dass die Ankläger *Mayers* Schriften nicht genügend kannten, sorgte *Tyndall* für

---

[1]) Vergl. „Kleinere Schriften und Briefe“, XIII 2.

englische Uebersetzungen derselben. Dass *Tait* auch hierdurch nicht bekehrt wurde, lassen seine späteren Darstellungen erkennen, worin gerügt wird, „dass man physikalische Resultate auf das alte Dogma basiert, welches im Krämerlatein lautet: „Causa aequat effectum“, dass *Mayers* Berechnung nur gelten könne als „eine glückliche Voraussage, gegründet auf vollständiges Vergessen jeder Logik“ u. s. w.

Tyndall schloss seinen letzten Aufsatz in der Sache, 1864; „To permit Dr. *Mayer* to remain in the position in which I found him, would be to fasten on myself the guilt of that neglect of which the plea of ignorance alone acquits his contemporaries. In every sentence that I have written in his favour I have felt that strength which perfect single-mindedness can alone impart, and, fearless alike of his fate and of my own, I now commit his reputation, and my conduct concerning it, to the impartial judgment of mankind.“

43.

„Früher oder später wird die Zeit gewiss kommen, in der die Wissenschaft die Wahrheiten hell erkennen wird, die ich zum Teil erst in dunkler Ferne ahne.“ Diese Worte, welche *Mayer* 1842 an *Griesinger* geschrieben, hatten nun volle Bestätigung gefunden. *Mayer* konnte sich der Befriedigung über die endlich eingetretene Wandlung hingeben, soweit nicht periodische Störungen seines Gesundheitszustandes hindernd in den Weg traten.

Die Litteratur auf den von ihm angebauten Gebieten verfolgte er mit Interesse, und bald war jede Bitterkeit über die anfängliche Verkennung seiner wissenschaftlichen Leistungen geschwunden. Er selbst citiert: „*Wieland* sagt:

sich neue Bahnen brechen
heisst in ein Nest gelehrter Wespen stechen.

Wie oft hat sich dies wiederholt? Wie oft pflegen weitgreifende Entdeckungen zuerst ignoriert, und dann bezüglich ihrer Neuheit bestritten zu werden.“

Daneben erkannte *Mayer* wohl, dass auch er etwas zu der verspäteten Anerkennung beigetragen hatte. Er gab zu, dass der Titel seiner „Organischen Bewegung“ nicht gut gewählt war und

schrieb 1869 an *Friedrich Mohr* nach nochmaliger Verteidigung seiner Verwendung des Wortes „Kraft“: „In Frankreich und England war mein Name, wie ich wohl weiss, bälder bekannt als in meinem Vaterlande, und wenn Sie mich von Ihrem Standpunkte aus einen Märtyrer meines Eigensinns heissen wollen, so kann ich Ihnen nicht ganz Unrecht geben“ [1]).

Als im Jahre 1864 die nicht gar weit von Heilbronn (in Augsburg) herausgegebene Zeitschrift „Das Ausland“ in einem orientierenden Artikel über „Kraft und Wärme“ ihren Lesern die historische Mitteilung machte, 1842 sei in jener Stadt „ein Arzt, der unsterbliche *Julius Robert Mayer*, der sein Leben im Irrenhause beschliessen musste“, mit der grossen Lehre hervorgetreten, dass Kraft und Wärme sich äquivalent verhalten, reklamierte *Mayer* nicht, sondern nahm Veranlassung „zu einer ergänzenden Bemerkung“ über „die Ebbe und Flut und die innere Erdwärme“, welche die Redaktion denn auch unter dem Ausdrucke der Freude über Leben und Genesung des Verfassers zum Abdruck brachte.

Im Jahre 1866 gab ihm ein andrer Artikel des „Ausland“, „Der neue Fixstern“, Anlass zu einem kleinen Aufsatz „Ueber temporäre Fixsterne“. Anschliessend an seine erste Mitteilung an die Pariser Akademie von 1846 und die „Beiträge zur Dynamik des Himmels“ von 1848 wies er darauf hin, „dass durch den endlichen Zusammensturz vorher unsichtbarer Doppelsterne neue Sterne von vorübergehendem Lichte entstehen müssen“. Die Körper, „welche uns das Schauspiel der Sternschnuppen und Feuerkugeln darbieten, spielen im Organismus eines Fixsternsystems dieselbe wichtige Rolle, wie die Blutkörperchen im Tierorganismus, die durch ihre unermessliche Anzahl ihre Kleinheit ersetzend einen unentbehrlichen Faktor des Lebensprozesses bilden“ (Meteoritentheorie der Sonnenwärme) [2]).

Mehr und mehr begannen nun auch die Lebensschicksale *Mayers* Interesse zu erregen. Biographische Mitteilungen erschienen in Büchern und Zeitschriften; *Mayer* selbst brachte manches zu Papier, wovon wir bei Abfassung dieser Skizzen Ge-

---

[1]) Briefe zwischen *Mayer* und *Mohr* finden sich in „Kleinere Schriften und Briefe“ unter XXI.

[2]) Die hier erwähnten Aufsätze *Mayers* sind abgedruckt in „Kleinere Schriften und Briefe“ unter IX.

brauch machen konnten [1]). Ueber die ärztliche Praxis spricht er sich 1863 wie folgt aus: „Was die Grundsätze, die mich am Krankenbette leiteten und noch leiten, anbelangt, so gehöre ich zu denen, welche die Medizin, die *ars medendi*, für eine Kunst und nicht für eine Wissenschaft erklären. Hier dürfen nicht Prinzipien eines konsequent durchgedachten Systems befolgt werden, sondern jeder einzelne Fall ist für sich aufzufassen und nach Regeln einer eklektischen Empirie zu behandeln, wobei das „ex juvantibus et nocentibus" entscheidet."

Schon im Oktober 1863 war von einem Stuttgarter Buchhändler bei *Mayer* angefragt worden, welches Quantum der „Organischen Bewegung" noch vorhanden sei und wie er dasselbe abzulassen willens wäre. Bald waren die anfangs so vernachlässigten Schriften kaum noch aufzutreiben. Vielfach machte sich auch das Bedürfnis nach Uebersetzungen geltend. So begannen denn im Jahre 1866 Verhandlungen mit der *Cotta*schen Verlagsbuchhandlung über eine Gesamtausgabe der *Mayer*schen Schriften, welche unter Mitwirkung *Gustav Rümelins* um das Ende des Jahres zum Abschlusse gelangten. Im Juli 1867 erschien „Die Mechanik der Wärme in gesammelten Schriften". Das Werk umfasste in dieser ersten Ausgabe die Aufsätze I bis IV und VI der gegenwärtigen dritten Auflage.

44.

Am 12. April 1869 lud der Geschäftsführer der 43. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte, Professor der Medizin Dr. *Otto Rembold*, *Mayer* zum Besuche dieser Versammlung nach Innsbruck ein und brachte noch ein weiteres Anliegen vor: „Sollten Sie nämlich nicht allzusehr Feind derartiger Versammlungen sein, und sich durch bessere Freunde bewegen lassen, Innsbruck zu besuchen, so erlaube ich mir die besondere Bitte vorzutragen: ob Sie vielleicht gesonnen wären, in einer der drei Generalversammlungen einen naturwissenschaftlichen Vortrag zu halten."

Mayer war gar kein Feind der Naturforscherversammlungen; er hatte diejenigen zu Karlsruhe (1858), Speier (1861), Stettin (1863), Giessen (1864), Frankfurt a. M. (1867) besucht, war

[1]) „Kleinere Schriften und Briefe", XV 6, und XIX.

1864 auch einer Einladung von *Clausius* zur Versammlung der Schweizerischen naturforschenden Gesellschaft in Zürich gefolgt, und wenn nicht die Versammlung zu Stettin gewesen wäre, so würde er wohl 1863 einen beabsichtigten Besuch *Tyndalls* mit demjenigen der Versammlung der British Association in Newcastle verbunden haben. Oeffentliches Reden war allerdings nicht seine starke Seite. Bereits am 19. April konnte *Rembold* für die Zusage von *Mayers* Besuch und seine Geneigtheit, einen Vortrag zu halten, danken.

Nun kam die Frage nach dem Thema des Vortrags. Bei der Auswahl wirkten augenblickliche Verhältnisse und Stimmungen mit. Am 9. September 1868 hatte die Württembergische Centralstelle für Gewerbe und Handel *Mayer* anheimgestellt, einen für Versuche zur mechanischen Wärmetheorie zu verwendenden Dynamometer, „welcher sowohl als kalorischer Dynamometer, wie auch als Bremsdynamometer verwendet werden kann“, auf Kosten der Centralstelle herstellen zu lassen. Dieser Dynamometer wurde 1869 erprobt und auf der Bezirks-Industrie- und Gewerbeausstellung zu Heilbronn ausgestellt. Weiter hatte sich *Mayer* 1869 anlässlich neuer Schriften von *Friedrich Mohr* und *Gustav Reuschle* mit der von *Thomson* und *Clausius* angenommenen Zerstreuung der Energie (fortschreitende Umwandlung aller Energie der Welt in Wärme und schliesslich in Wärme von gleicher Temperatur; vergl. Anhang A, d zu Aufsatz IV) beschäftigt und in Briefen an *Mohr* und *Reuschle* deren entschiedener Bekämpfung eines solchen Weltstillstandes zugestimmt [1]). Das Verhältnis der Physik zur Metaphysik hatte von jeher *Mayers* Interesse in Anspruch genommen. Nachdem er 1851 zu der Gewissheit gelangt war, „dass die naturwissenschaftlichen Wahrheiten sich zur christlichen Religion verhalten etwa wie die Bäche und Flüsse zum Weltmeer“ (30), hatte er es zwar aufgegeben, „mit dem Sturmwinde der Leidenschaft in Brackwassern zu segeln,“ aber nicht leicht eine Gelegenheit versäumt, offen für seine religiöse Ueberzeugung einzutreten.

Am 21. Juli 1869 schrieb *Mayer* an *Reuschle*: „In Innsbruck

---

[1]) *Mohr*, Allgemeine Theorie der Bewegung und Kraft, Braunschweig 1869, S. 34; *Reuschle*, Der neuere Umschwung der Physik und die Grenze zwischen Physik und Metaphysik, Deutsche Vierteljahrsschrift 1869 XXXII, Heft 3, S. 290. Vergl. „Kleinere Schriften und Briefe“, XI 6 und XXI 7.

soll ich dieses Spätjahr in einer allgemeinen Versammlung einen Vortrag halten, wozu ich vom Geschäftsführer aufgefordert wurde; ich wollte, ich wäre in Stuttgart, um zu dem Ende Deinen gütigen Rat benutzen zu können."

Mayers Vortrag war anfangs für die dritte allgemeine Sitzung, am 24. September, bestimmt. Am 6. September schrieb jedoch *Rembold*, dass es ihm wohl erwünschter sein dürfte, schon in der ersten Sitzung zu sprechen, er habe begonnen, eine andre Einteilung vorzunehmen. Infolge Verhinderung andrer wurde auch *Helmholtz* nachträglich ersucht, in der ersten Sitzung zu reden [1]). Die Tagesordnung für die letzteren wurde im „Tageblatt" der Versammlung vom 18. September für diesen Tag wie folgt angekündigt: Morgens ½ 10 Uhr: Erste allgemeine Sitzung. Eröffnung und Begrüssungen. Geschäftliches. Vortrag des Herrn Geheimrates Professor Dr. *Helmholtz* aus Heidelberg: „Ueber die Entwickelungsgeschichte der neueren Naturwissenschaft". Vortrag des Herrn Dr. *J. R. v. Mayer* aus Heilbronn." — *Mayer* hielt folgenden Vortrag.

---

[1]) Vergl. „Kleinere Schriften und Briefe", XXIII 6.

VII.

Ueber notwendige Konsequenzen und Inkonsequenzen der Wärmemechanik.

(Vortrag, gehalten in der ersten allgemeinen Sitzung der Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte zu Innsbruck, am 18. September 1869).

Der Gegenstand, über welchen ich die Ehre haben werde, hier einen kurzen Vortrag zu halten, betrifft, wie Sie nicht anders von mir erwarten werden, die mechanische Wärmetheorie. Da indessen, wie sich auch aus dem Vortrage meines Herrn Vorredners *(Helmholtz)* ergibt, eine Bekanntschaft mit derselben im allgemeinen wohl vorausgesetzt werden darf, so kann es sich hier nicht mehr um die Begründung und um die Entwickelung der Hauptsätze dieser Wissenschaft handeln, vielmehr werde ich mir erlauben „über notwendige Konsequenzen und Inkonsequenzen der neuen Lehre“ einige Worte an Sie zu richten. 1

Der geistreiche Kanzler *Autenrieth* hat jedes System 2
mit einer an den grossen Kreis der Wahrheit gezogenen Tangente verglichen. In einem Punkte berührt diese Linie den Kreis, aber allzustrenge Konsequenz wird bald zur Un- 3
natur. Mit Recht wird z. B. das Utilitätsprinzip von den Männern der Wissenschaft von jeher nicht in den Vordergrund gestellt, aber zu weit würde man gehen, man würde etwas Unmögliches unternehmen, wenn man der Theorie das Recht zu praktisch nützlicher Verwendung ganz absprechen

wollte. Wir leben im Herbste und es möge mir gestattet sein, der hohen Versammlung zum Eingange eine reife Frucht meiner Wärmetheorie vorzulegen.

1.

Es sind nun bald 20 Jahre, dass ich in einer kurzen Abhandlung, betitelt „Bemerkungen über das mechanische Aequivalent der Wärme“ folgendes veröffentlicht habe: „Neuerdings ist es mir auch gelungen, zur direkten Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalentes einen sehr einfachen Wärmebewegungsmesser in kleinerem Massstabe zu konstruieren, mit welchem sich die Richtigkeit des in Rede stehenden Prinzips *ad oculos* demonstrieren lässt, und ich habe Grund zu glauben, dass mittelst eines solchen kalorimotorischen Apparates auch der Nutzeffekt von Wasserwerken und Dampfmaschinen leicht und vorteilhaft gemessen werden kann; doch muss es dem künftigen Urteile der Techniker vorbehalten bleiben, darüber zu entscheiden, ob und wie weit diese Methode vor der *Prony*schen den Vorzug verdient.“ Dieser Apparat, den ich noch besitze und der dort nicht näher beschrieben ist, besteht aus einer Druckpumpe mit konischem Ventil, mittelst welcher Wasser durch ein an einem Hebelarme angehängtes Gewicht von 25 kg durch eine enge Oeffnung hindurchgepresst wird. Jede Gewichtssenkung bewirkt eine merkliche, thermometrisch wahrnehmbare Temperaturerhöhung des vorgeschützten Liter Wasser. Seit dieser Zeit habe ich den Gedanken gehegt, dass es von praktischem Werte sein könne, die mechanische Leistung beliebiger Motore durch die von solchen erzeugte Wärme zu messen. Durch das freundliche Entgegenkommen des Herrn Präsidenten *v. Steinbeis* und durch die bereitwillige Unterstützung der königlichen Centralstelle für Gewerbe und Handel in Stuttgart wurde ich veranlasst, diesen Gedanken zu realisieren. Die Ausführung unternahm mit bekannter Meisterschaft der ausgezeichnete Techniker *Emil Zech,* Direktor der Maschinenfabrik in Heilbronn. Die

ursprüngliche Idee, die Umwandlung der Arbeit in Wärme vermittelst einer Druckpumpe zu bewirken, wurde von Herrn *Zech* sehr zweckmässig dahin modifiziert, zu diesem Ende eine Bremse anzuwenden, welche in einem mit Wasser gefüllten Kasten läuft. Wenn man nun, was leicht geschieht, die in einer gewissen Zeit auf Kosten der Arbeit produzierte Wärme misst, so ergibt sich hieraus sogleich die von dem Motor gelieferte Anzahl von Meterkilogramm oder Pferdekräften. Während man nun auch die Umdrehungen der Bremsscheibe mittelst eines Compteurs zählt und den Druck kennt, der durch ein an einen Hebelarm gehängtes Gewicht hervorgebracht wird, so lässt sich hieraus der stattgehabte Kraftverbrauch ebenfalls berechnen, und man hat also bei diesem Dynamometer zwei ganz verschiedene und dabei bequeme Methoden, die Kraft zu messen, welche sich gegenseitig kontrollieren. Der Apparat, welcher geeignet ist, Maschinen von 20 und mehr Pferdekräften zu messen, und der 240 kg Wasser fasst, wurde zu dem Preis von 250 Gulden rheinisch oder 210 Gulden österreichische Währung [ca. 420 Mark] hergestellt. Es befindet sich derselbe gegenwärtig in der gerade stattfindenden Gewerbe- und Industrieausstellung in Heilbronn und ist ein Eigentum der schon erwähnten Centralstelle für Gewerbe und Handel. Da die bisher üblichen Methoden durch die Bremse allein die Kraft zu bestimmen, den Bedürfnissen bekanntlich nicht recht genügt haben, so hoffe ich mit diesem neuen Apparate der Technik einen wesentlichen Dienst geleistet zu haben und zugleich ist dieser Apparat zur direkten Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalentes in grossem Massstabe geeignet.

Ehe wir dies Gebiet ganz verlassen, will ich noch eine öfters aufgeworfene hierher gehörige Frage beantworten, ob sich nämlich die auf mechanischem Wege gewonnene Wärme, z. B. die in unserem Kraftmesser zu Tage tretende Wärme nicht weiter nützlich verwerten lasse? Diese Frage muss leider verneint werden, und zwar aus folgendem Grunde. Für den Techniker, ich sage für den Techniker im weitesten

Sinne des Wortes, ist die Wärme weitaus die billigste, also auch die relativ wertloseste Form der lebendigen Kraft. Nach dieser kommt die schon viel kostbarere mechanische Arbeit; um vieles teurer noch ist das Licht, und am allerkostbarsten die Elektrizität. Es ergibt sich hieraus schon, dass sich Bewegung nie mit Vorteil in Wärme umsetzen lässt, oder dass die auf solchem Wege gewonnene Wärme nicht weiter nutzbar gemacht werden kann. Anscheinende Ausnahmen können die hier aufgestellte Regel nicht umstossen, und ich möchte dieselbe allen denen zur Beherzigung dringend empfehlen, die sich mit der Kräftemetamorphose zu technischen Zwecken, also zu direkter Nutzbarkeit beschäftigen.

2.

Erheben wir nun unsre Blicke von der engen Werkstätte zu den weiten Räumen des Himmels. Aus der Meteoritentheorie, nach welcher bekanntlich die Sonne durch den Sturz planetarisch kosmischer Massen geheizt wird, hat man einen Schluss auf einen endlichen völligen Stillstand der ganzen makrokosmischen Maschine, auf eine sogenannte Entropie ziehen wollen. Ich ergreife die mir gebotene Gelegenheit gerne, mich dahin auszusprechen, dass ich diese Ansicht nicht teile. Um die Grenzen der physikalischen Astronomie nicht zu überschreiten, will ich hier nicht weiter an den Schöpfer und Erhalter der Welt erinnern. Die Lehre von der Wärmeentwickelung durch Zusammensturz räumlich getrennter Massen ist überhaupt erst in ihrer Entstehung begriffen und deshalb noch wenig ausgebildet, und es möchte dieselbe somit wohl noch nicht das geeignete Fundament für so weitgehende Konsequenzen darbieten. Was sich aber jetzt schon über die Erhaltung der Welt sagen lässt, will ich, von meinem Standpunkte aus betrachtet, in Kürze zusammenfassen. Von vornherein sei bemerkt, dass die vorhin gegebene Regel von dem relativen Werte der verschiedenen Kraftformen nur für unsre irdischen ökonomischen

Verhältnisse gilt, hingegen auf die Oekonomie des Makrokosmus keinerlei Anwendung zulässt. Der endliche Stillstand der Welt, oder die befürchtete Entropie würde eintreten, wenn einmal alle ponderable Substanz des Universums zu einer Masse vereinigt wäre. Man könnte sich dann einen Augenblick vorstellen, dass auch die ganze Summe der existierenden lebendigen Kraft in Form von Wärme in dieser Masse gleichförmig verteilt und so ein Zustand von ewigem Gleichgewichte zu stande gekommen wäre. Wie soll aber eine solche Massenvereinigung möglich werden? Das zweite Gesetz der mechanischen Wärmetheorie, das *Carnot*sche Gesetz, welches lehrt, dass die Wärme nur dann zur Hervorbringung von Bewegung benutzt werden kann, wenn dieselbe von einem wärmeren auf einen kälteren Körper übergeht, postuliert eine solche allgemeine Massenvereinigung keineswegs, ja es ist vielmehr eine solche trotz des *Carnot*schen Gesetzes für alle Ewigkeit geradezu unmöglich. Vor 5 Jahren hat schon *Brayley* in London und neuerdings wieder *Reuschle* im neuesten Hefte der deutschen Vierteljahrsschrift darauf aufmerksam gemacht, dass, wenn Massen von der Grösse unsrer Sonne, oder auch nur von der halben Grösse derselben zusammenstürzen, ein Effekt entsteht, so gross, dass aller Massenzusammenhang aufgehoben wird und die Moleküle in den ewigen Weltraum hinausfliegen. Wir haben nun allen Grund anzunehmen, dass im Laufe der unendlichen Zeit und im unendlichen Raume derartige Weltzertrümmerungen oder partielle Weltuntergänge vorkommen und vorgekommen sind. Einen sprechenden Beweis hierfür besitzen wir in der Beobachtung von Meteoren mit hyperbolischer Laufbahn. Ich beziehe mich in dieser Hinsicht auf die wichtige Abhandlung von Professor *Heis* in Münster: „Die grosse Feuerkugel, welche am Abende des 4. März 1863 in Holland, Deutschland, Belgien und England gesehen worden ist, Halle 1863“, eine Schrift, welche ich der Güte des Herrn Verfassers verdanke. Die wahre, heliocentrische Bewegung dieses Meteors betrug 9,145 geographische Meilen für die Sekunde; die Bahn war somit eine

hyperbolische. Am Schlusse seiner gediegenen Arbeit erwähnt *Heis* noch einer andern von *Vaillant* und *Le Verrier* in Paris und von Abbé *Paumard* in Précigné am 29. Oktober 1857 gesehenen und von dem Direktor der Sternwarte in Toulouse, Herrn *Pétit* berechneten Feuerkugel, welche ebenfalls eine hyperbolische Bahn hatte. Halten wir uns an die ersterwähnte, von *Heis* berechnete Feuerkugel. Dieselbe besass, wie schon gesagt, eine Geschwindigkeit von 9,145 Meilen. In der Entfernung unsrer Erdbahn von der Sonne kann aber ein Körper, der seine Bewegung nur durch die Anziehung der Sonne erhalten hat, keine grössere Ge-
7 schwindigkeit als die von 5,8 geographische Meilen haben, während die Erde selbst, vermöge der geringen Excentrizität
8 ihrer Bahn überall nur eine Geschwindigkeit von etwas über 4 Meilen besitzt. Unsre Feuerkugel musste somit, um in der Entfernung der Erdbahn eine Geschwindigkeit von 9 Meilen zu haben, schon mit einer Wurfgeschwindigkeit von 7 geographischen Meilen in die Anziehungssphäre unsrer Sonne eingetreten sein. Woher soll sie nun eine solche Bewegung erhalten haben? Man könnte für die Erklärung einer solchen versucht sein, zu der Annahme einer eigenen fortschreitenden Bewegung unsres ganzen Sonnensystemes im Weltraume, oder einer Bewegung um eine sogenannte Centralsonne seine Zuflucht zu nehmen. Allein es lässt sich keine Massenanhäufung denken, die gross genug wäre, um von Fixsternenentfernung aus unsrer Sonne eine irgend merkliche Geschwindigkeit zu erteilen. Ausserdem müsste, wenn unsre Erde neben ihrer Centralbewegung um die Sonne mit dieser letzteren noch eine weitere Bewegung im Weltraume besässe, das von den Fixsternen auf die Erde treffende Licht andre Aberrationserscheinungen, als die wirklich beobachteten, darbieten. Mithin haben wir allen Grund, unsre Sonne buchstäblich als einen Fixstern anzusehen und an eine Bewegung derselben durch den Weltraum nicht zu glauben. Dieses einmal festgestellt, sind nun Meteore mit hyperbolischen Bahnen — sie sind, sage ich, feurige Kuriere, die sprechendes Zeugnis geben von einem irgend ein-

mal und irgendwo stattgefundenen Massenkonflikt, stark genug, dass bei demselben die betreffenden Moleküle in alle Welt hinaus explodiert sind. Wenn also auch angenommen werden muss, dass der strahlende Effekt unsres Sonnenkörpers, wie der aller übrigen Fixsterne an einen Verbrauch von Sturzmasse geknüpft ist, so ist durch einen solchen Verbrauch doch deshalb noch keine endliche Erschöpfung bedingt, weil durch den Konflikt sehr grosser Massen jedesmal wieder der Welt hinreichendes Sturzmaterial geliefert wird.

3.

Nachdem nun die Erhaltung der Welt nach dem Bisherigen als zur Genüge gesichert erscheinen wird, wollen wir wieder aus dem Universum zu unsrer Erde zurückkehren. Wie bekannt, so gehen alle Bewegungserscheinungen auf derselben, mit Ausnahme von den vulkanischen Aktionen und der Ebbe und Flut zuletzt von der Sonne aus. Eine 9
dieser Thätigkeiten, die wir nun etwas näher ins Auge fassen wollen, ist eine elektrische Strömung auf der Erdoberfläche. Dass eine solche stattfindet, geht aus der Richtung der Magnetnadel hervor, und ist dieselbe auch durch *Lamont* direkt nachgewiesen worden. Da es aber keine Wirkung 10
ohne entsprechende Ursache geben kann, so muss jedenfalls diesem bedeutenden Verbrauche von elektrischer Aktion ein fortlaufender bedeutender Ersatz entsprechen. Wir haben also unsre Erde in dieser Hinsicht als eine grosse und immerfort thätige Elektrisiermaschine zu betrachten. Ich spreche aber hier nicht von den Lokalerscheinungen der Gewitter. Die auf diesem Wege gewonnene Reibungselektrizität wird namentlich durch die Blitzbildung rasch wieder ausgeglichen, so dass die Gewitter alle in Summa auf den elektrischen Zustand der ganzen Erdoberfläche keine merkliche Einwirkung ausüben können. Für die konstante Ursache der konstanten Störung des elektrischen Gleichgewichtes des Erdkörpers können wir nur die permanenten

Luftströmungen zwischen den Tropen gelten lassen, die uns unter dem Namen der Passatwinde bekannt sind. Die unterste Schichte der Passatwinde nimmt durch Reibung mit der Meeresoberfläche eine dem Wasser entgegengesetzte elektrische Beschaffenheit an; diese Luft erhebt sich aber, von der Sonne erwärmt, und von der kälteren unten nachströmenden Luft verdrängt, wieder nach oben, um gegen die Pole hin abzufliessen, wo sie durch die erhaltene elektrische Spannung u. a. die prächtige Erscheinung des Polarlichtes hervorruft. Nun ist wohl zu bemerken, dass vermöge der physischen Beschaffenheit der Erdoberfläche die elektromotorische Thätigkeit der südlichen Halbkugel durchgängig stärker als die der nördlichen ist, wodurch geschieht, dass nicht nur auf beiden Halbkugeln zwischen Pol und Aequator, sondern auch zwischen dem Nord- und Südpole selbst eine konstante Störung des elektrischen Gleichgewichtes stattfindet und diese ist es, durch welche die Richtung der Magnetnadel bestimmt wird. Den zwischen dem Nordost- und Südostpassate gelegenen schmalen Gürtel, von *Dove* bekanntlich die Zone der Kalmen genannt, wollen wir zu unsrem vorliegenden Zwecke den meteorologischen Aequator heissen. Derselbe koincidiert bekanntlich mit dem geographischen Aequator nicht, sondern schwankt ungefähr 1—1½ Grad nördlich von demselben langsam hin und her. Das *experimentum crucis* für die hier vorgetragene Theorie, oder wir wollen für jetzt nur sagen Hypothese von den Passatwinden als der Hauptursache des Erdmagnetismus würde nun in dem Nachweise bestehen, dass die bekannten Veränderungen, welche die magnetischen Pole der Erde sowohl als die Deklination allmählich erleiden, mit gleichzeitig entsprechenden Veränderungen unsres meteorologischen Aequators parallel gehen. Da eine solche Arbeit aber von einem einfachen Privatmanne nicht geleistet werden kann, so muss ich mich damit begnügen, diesen Gegenstand hier überhaupt in Anregung gebracht zu haben.

4.

Treten wir nun aus dem Gebiete der unbelebten Natur über in die lebende Welt. Wenn dort die Notwendigkeit herrscht und des Gesetzes immer gleichgestellte Uhr, so kommen wir jetzt in ein Reich der Zweckmässigkeit und Schönheit, in ein Reich des Fortschrittes und der Freiheit. Die Grenzmarke bildet die Zahl. In der Physik ist die Zahl 11
alles, in der Physiologie ist sie wenig, in der Metaphysik ist sie nichts. Saturn, der Allesverschlingende, hat zu regieren aufgehört; die Zeit ist auf unserem jetzigen Gebiete produktiv. Gott sprach: es werde, und es ward! Nicht nur erhalten wird die lebende Welt, sie wächst und sie verschönert sich. Lassen Sie uns den Schritt aus der toten in die lebende Natur mit ruhiger Besonnenheit thun. Vor zweierlei Missgriffen müssen wir uns hüten. Erstens dürfen wir das auf physikalischem Gebiete Gewonnene beim Betreten andrer Felder nicht geradezu wieder aufgeben, vielmehr müssen wir dasselbe auch in der Physiologie und Philosophie möglichst festhalten. Der Platonische Spruch: μηδεις ἀγεωμετρητος εἰσιτω soll für unsre Zwecke heissen: die Physik im weitesten Sinne des Wortes, d. h. die ganze Lehre von der unbelebten Natur, muss bei dem Studium der Physiologie und der Metaphysik als eine absolvierte Hilfswissenschaft vorausgesetzt werden. Zweitens können wir aber auch mit dem Festhalten physikalischer Lehrsätze nicht allzu konsequent sein, denn während wir es dort mit Gesetzen zu thun gehabt haben, haben wir jetzt nur noch Regeln. Der Satz von der Erhaltung der Materie und der Kraft gilt zweifelsohne auch in der Physiologie. Der lebende Organismus kann weder Materie noch Kraft, sei es erzeugen oder vernichten, und kann auch nicht die gegebenen chemischen Urstoffe in einander umsetzen; dagegen werden von der Pflanzenwelt auf höchst merkwürdige Weise ternäre und quaternäre Kombinationen hervorgerufen, die in der Regel auf künstlichem Wege nicht dargestellt werden können.

Ferner findet in der lebenden Natur allerdings Zeugung und Erzeugung statt, — eine Thätigkeit, von der man sich auf rein physikalischem Gebiete vergeblich nach einem Analogon umsieht, es kann also der physikalisch richtige Satz: „*ex nihilo nil fit*“ schon in der Physiologie nicht mehr in voller Strenge festgehalten und durchgeführt werden, viel weniger noch auf geistigem Gebiete. Ich werde hier an eine merkwürdige Stelle in *Lucians* „Demonax“ erinnert. Befragt, ob er die Seele für unsterblich halte, antwortete der Philosoph: „Ja, unsterblich wie alles andre.“ Das Erhaltungsprincip, oder der zweite Satz: „*nil fit ad nihilum*“ gilt in Gottes lebender Schöpfung noch in erhöhtem Grade; soferne er nicht mehr, wie in der toten Natur, durch den sterilen Satz: „*ex nihilo nil fit*“ beschränkt ist.

Der französische Physiker *Adolphe Hirn*, welcher wie *Joule, Colding, Holtzmann* und *Helmholtz*, das mechanische
12 Wärmeäquivalent s. Z. selbständig entdeckt hat, statuiert, meiner Ansicht nach, so schön als wahr, dreierlei Kategorien von Existenzen: 1. die Materie, 2. die Kraft und 3. die
13 Seele oder das geistige Princip. Ist man einmal zu der Einsicht gelangt, dass es nicht bloss materielle Objekte, dass es auch Kräfte gibt, Kräfte im engeren Sinne der neueren Wissenschaft, ebenso unzerstörlich wie die Stoffe des Chemikers, so hat man zur Annahme und Anerkennung geistiger Existenzen nur noch einen folgerichtigen Schritt zu thun. In der unbelebten Welt spricht man von Atomen, in der lebenden Welt finden wir Individuen. Der lebende Körper besteht aber, wie wir wissen, nicht bloss aus materiellen Teilen, er besteht wesentlich auch aus Kraft. Aber weder die Materie noch die Kraft vermag zu denken, zu fühlen und zu wollen. Der Mensch denkt. Längere Zeit hindurch hat man allgemein angenommen, dass das Nervenmark, insbesondere also das Gehirn, freien Phosphor enthalte, und die Phantasie hat diesem „freien Phosphor“ bei den geistigen Verrichtungen eine grosse Rolle zugeteilt. Die neuesten, genauesten Untersuchungen auf dem Gebiete der organischen Chemie haben aber gelehrt, dass kein lebender Organismus,

also auch das Gehirn nicht, jemals freien Phosphor enthält. Obgleich nun solche Illusionen vor den Ergebnissen einer exakten Wissenschaft schwinden müssen, so steht es andrerseits nichtsdestoweniger fest, dass im lebenden Gehirn fortlaufend materielle Veränderungen, die man mit dem Namen der molekularen Thätigkeit bezeichnet, vor sich gehen, und dass die geistigen Verrichtungen des Individuums mit dieser materiellen Cerebralaktion auf das Innigste verknüpft sind. Ein grober Irrtum aber ist es, wenn man diese beiden parallel laufenden Thätigkeiten identifizieren will. Ein Beispiel wird dies am deutlichsten machen. Bekanntlich kann ohne einen gleichzeitigen chemischen Prozess keine telegraphische Mitteilung stattfinden. Das aber, was der Telegraph spricht, also der Inhalt der Depesche, lässt sich auf keine Weise als eine Funktion einer elektrochemischen Aktion betrachten. Dies gilt noch mehr vom Gehirn und vom Gedanken. Das Gehirn ist nur das Werkzeug, es ist nicht der Geist selbst. 14 Der Geist aber, der nicht mehr dem Bereiche des sinnlich Wahrnehmbaren angehört, ist kein Untersuchungsobjekt für den Physiker und Anatomen. Was subjektiv richtig gedacht ist, ist auch objektiv wahr. Ohne diese von Gott zwischen der subjektiven und objektiven Welt prästabilierte ewige Harmonie wäre all unser Denken unfruchtbar. Die Logik ist die Statik, die Grammatik ist die Mechanik und die Sprache die Dynamik des Gedankens. Lassen sie mich hier schliessen. Aus vollem ganzen Herzen rufe ich es aus: eine richtige Philosophie darf und kann nichts andres sein, als eine Propädeutik für die christliche Religion.

Anmerkungen des Herausgebers.

1. Die erste Veröffentlichung des Vortrags im „Tageblatt der 43. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte zu Innsbruck 1869“, S. 40—44, weist gegenüber den übereinstimmenden späteren Abdrücken einige unwesentliche Kürzungen auf. Dass diese Abdrücke

jedoch der ursprünglichen Ausarbeitung entsprechen, ergibt ein Vergleich mit dem noch vorhandenen Manuskript *Mayers*, welches dem Herausgeber vorlag. Dies Manuskript war offenbar für den Vortrag selbst geschrieben, wie schon daraus hervorgeht, dass es mit den später durchstrichenen Worten „Hochansehnliche Versammlung!“ beginnt, und neben Titel und Zeit des Vortrags nachträglich die Worte (im ersten Absatze) eingefügt enthält: „wie sich auch aus dem Vortrage meines Herrn Vorredners ergibt“.

2. Professor der Anatomie, Physiologie etc. und Kanzler der Universität Tübingen, einer der Universitätslehrer *Robert Mayers.*

3. In Aufzeichnungen aus den sechziger Jahren (1863) fügt *Mayer* diesem Vergleiche bei: „um sich nicht zu weit vom Kreise zu entfernen, muss die Tangente oft gebrochen werden, und diese Inkonsequenz in der Welt unsrer Gedanken ist die notwendige Folge unsrer unzulänglichen Kenntnis der objektiven Welt; andernfalls wird das starre System zu einem Bett des Prokrustes.“ Vergl. „Kleinere Schriften und Briefe“, XIX 1.

4. Siehe oben S. 270.

5. Auf der Naturforscherversammlung zu Innsbruck übergab *Mayer* in der Sitzung der Sektion für Physik und Mechanik vom 20. September 1869 eine Anzahl Exemplare einer gedruckten Beschreibung seines Arbeitsmessers, welche auch in das Tageblatt der Naturforscherversammlung aufgenommen wurde (S. 63) und wie folgt lautet:

„Kraftmesser von *Mayer* und *Zech*. Dieser Kraftmesser besteht in der Hauptsache aus einer gusseisernen Rolle, welche in einem mit Wasser gefüllten Kasten sich bewegt, und durch dagegen gepresste Hölzer gebremst wird. — Wird beispielsweise der Kraftmesser durch einen Riemen mit einem Wasserrade verbunden, um die Kraft desselben zu messen, so werden die Bremshölzer so lange zusammengeschraubt, bis das Wasserrad die gewünschte Geschwindigkeit hat; die Arbeit des Wasserrads wird durch die Reibung aufgezehrt, und dadurch wird nach dem von Dr. *von Mayer* zuerst ausgesprochenen Grundsatze der Wärmemechanik Wärme frei, deren Menge der aufgezehrten Arbeit entspricht und durch die Temperaturänderung des Wassers messbar wird. Ist somit diese Wärmemenge bestimmt, so ist es auch die Leistung des Wasserrades, da die freigewordene Wärme im einfachen Verhältnis zur aufgewandten Arbeit steht, d. h. der zweifachen Wärmemenge auch zweifache Arbeit entspricht. — Schon hierdurch ist die Leistung des Wasserrads bestimmt, es kann aber diese Messung noch kontrolliert werden, indem man die Wagschale so lange mit Gewicht beschwert, bis sich der obere Arm der Bremse wagrecht stellt und in dieser Stellung verbleibt, während sich die Bremsrolle dreht. Ist dieser Beharrungszustand gefunden,

so ergibt sich aus dem aufgelegten Gewicht die Grösse des Reibungswiderstandes der Bremse und dadurch auch die Menge der geleisteten Arbeit."

Eine genauere Beschreibung mit Abbildung findet man in „Kleinere Schriften und Briefe" unter XXIII 4.

6. Die Bezeichnung „Entropie" für den Endzustand, welcher bei fortwährender Umwandlung aller Energie der Welt in Wärme schliesslich erreicht würde, dürfte *Mayer* dem ihm von *Mohr* im Juni 1869 zugesandten Werke desselben, „Allgemeine Theorie der Bewegung und Kraft," Braunschweig 1869, S. 42, 44, entnommen haben. Bei *Clausius*, welcher den Namen Entropie einführte, bedeutet derselbe eine gewisse Grösse, welche beim Eintritt jenes Endzustandes ihr Maximum erreicht. Vergl. *Clausius*, Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie, II, Braunschweig 1867, S. 34, 44. Siehe auch Anhang *A*, *d* zu Aufsatz IV.

7. Vergl. oben S. 219. Nach der dort gegebenen Formel 11 hat man beim Fall von $h = \infty$ bis h'

$$c = G\sqrt{\frac{r}{h'}}$$

Da nun *Mayer* S. 167 für die Sonne setzt $G = 85$, $r = 112{,}05 \cdot 858{,}4$ geographische Meilen, so folgt beim Fall bis zur mittleren Erdentfernung von $h' = 20\,036\,000$ Meilen die Endgeschwindigkeit $c =$ 5,89 Meilen.

8. Vergl. oben S. 168 und die zugehörige Anmerkung.

9. Vergl. oben S. 74.

10. Man sehe *Poggendorffs* Annalen, 1861 CXIV, S. 281, 639, und 1862 CXVI, S. 36, oder Fortschritte der Physik, 1861 XVII, S. 565, und 1862 XVII, S. 558.

11. Im Aufsatz X bezeichnet *Mayer* das Mineralreich, Pflanzenreich und Tierreich unter weiteren Ausführungen bezw. als Reich der Notwendigkeit, der Zweckmässigkeit und des Willens oder der Freiheit.

12. Die Angabe *Hirns* von seiner um das Jahr 1854 gemachten selbständigen Entdeckung, welche er jedoch nur auf ein festes Verhältnis zwischen aufgewandter Arbeit und entstehender Wärme bei Reibung mit Schmiermitteln oder sonstiger Zwischenschicht bezieht (frottement médiat, *Hirn* erhielt 1 Wärmeeinheit = 370 Meterkilogramm Arbeit), findet sich im Bulletin de la société industrielle de Mulhouse No. 128 et 129, Mulhouse 1855, p. 238, 202. Ueber *Joule*, *Colding*, *Holtzmann* und *Helmholtz* siehe oben S. 224, 317, 226, 227. Dass *Holtzmann* im Jahre 1844 das Wärmeäquivalent selbständig gefunden habe, ist erwähnt in seiner nach seinem 1865 erfolgten Tode herausgekommenen kleinen Schrift: Mechanische Wärmetheorie, Stuttgart 1866, S. 8. Von einer selbständigen Entdeckung des mechani-

schen Wärmeäquivalents durch *Helmholtz*, oder dessen Anspruch auf eine solche, war zur Zeit obigen Vortrags nichts bekannt. Erst 1884 bemerkte *Helmholtz* (Vorträge und Reden, II, Braunschweig 1884, S. 193) nach Besprechung seiner Formulierung des Prinzips von der Erhaltung der Energie: „Von dieser Grundlage aus methodisch die bekannten physikalischen Gesetze analysierend, musste ich auch die Aequivalenz zwischen Wärme und Arbeit finden, welche wenige Jahre vorher die Herren *R. Mayer* und *P. Joule*, ohne dass ich von ihnen wusste, ebenfalls gefunden hatten. Von letzterem lernte ich erst unmittelbar vor der Absendung meines Manuskripts einige seiner ersten noch unvollkommenen Versuche kennen.“ Vergl. auch „Kleinere Schriften und Briefe“, XXII 23, und Vorbemerkungen zu XXIII.

13. Da *Mayer* auch im Vorwort zur ersten Auflage der „Mechanik der Wärme“ auf *Hirn* verweist, so mögen einige Worte über dessen Anschauungen folgen. *Hirn* sucht zunächst ausführlich zu begründen, warum neben Materie und Kraft noch ein „Principe animique“ anzunehmen ist. So vergleicht er das Gehirn und den ganzen Nervenapparat mit einer galvanischen Säule besonderer Art und bemerkt dazu u. a.:

„Nous concevons très-bien qu'une pareille pile puisse rester chargée et prête à agir; mais ce qui demeure tout aussi clair pour nous, c'est que ce n'est point par elle même qu'une pareille pile peut commencer à agir ou cesser d'agir; c'est qu'elle restera au repos tant qu'aucune impression venue du dehors ne la tirera de ce repos; c'est qu'elle restera en activité indéfinie dès que son équilibre aura été troublé par une impression ou une autre. En supposant même qu'une pile resultant nécessairement de la superposition d'éléments symétriques multiples, puisse avoir la conscience une et indivisible d'elle même, il est evident, en nous tenant dans le cercle experimental, que cette pile ne pourrait jamais commencer à travailler, à penser, qu'après une impression externe; mais qu'une fois cette impression reçue, elle ne pourrait pas ne pas travailler, ne pas penser. Or cette faculté spéciale de tout être pensant n'a jamais pu être niée que systématiquement, et contrairement à l'observation la plus élémentaire des faits. — Nous pouvons et nous devons donc admettre logiquement que la pile vivante est gouvernée par un principe spécial de nature totalement distincte de tous les éléments de la pile elle-même.“

Auf Grund weiterer Erörterungen wird dann angenommen: „Chaque être vivant forme un tout harmonieux, qui, moyennant sa construction, comme instrument, accomplit un ensemble de fonctions multiples qui le caractérisent, qui constituent son originalité, qui en font un individu: cela est vrai depuis l'homme jusqu'aux derniers des cryptogames. La vie est donc la manifestation d'un principe animique

qui, par l'ensemble de ses propriétés et de ses corrélations avec les autres principes constituants de l'Univers [matière, force], agit dans l'être vivant comme puissance motrice et directrice [à l'aide des forces] des éléments dont il se sert pour organiser le corps de l'être."

Vergl. Esquisse élémentaire de la théorie mécanique de la chaleur et de ses conséquences philosophiques, Bulletin de la société d'histoire naturelle de Colmar, IV. année, 1863, Colmar 1864, p. 73, 81. Diese sechs Vorlesungen bilden auch den Anfang des weiter greifenden Werkes: *Hirn*, Analyse élémentaire de l'univers, Paris 1868.

14. Vergl. oben S. 87 und Aufsatz XIII.

Robert Mayer.

45.

Der Schluss des letzten Aufsatzes lässt es erwünscht erscheinen, einige Worte über die religiösen Ansichten *Mayers* einzufügen. Dieselben sind sich keineswegs immer gleich geblieben, fest blieb bei ihm nur der Gegensatz zum Materialismus und Atheismus, und da er stets für seine Ueberzeugung mannhaft eintrat, so mochte es manchmal scheinen, als ob er eine ausgeprägter positive Richtung vertrete, als sich aus der Gesamtheit seiner Aufzeichnungen nachweisen lässt.

Die Religion war *Mayer* Gefühlssache und bald auch wissenschaftliche Ueberzeugung, niemals Dogmenfrage. Er bedurfte ihrer, und war deshalb allem entgegen, was ihren Wert für das Gemüt herabdrücken konnte. Auf der Universität frohem Lebensgenuss huldigend, erinnert er sich auch nach dem Verlassen derselben seines akademischen Leichtsinns „noch recht gut und mit dem grössten Vergnügen“, schreibt aber drei Jahre später auf der Reise nach Ostindien Briefe und Tagebuchblätter, welche neben tief religiösem Sinn auch eine auffallende Frömmigkeit erkennen lassen.

So berichtet er über den Empfang seiner Bücher auf dem Schiffe in charakteristischer Zusammenstellung: „Triumphierend hielt ich die Bibel und das Gesangbuch in die Höhe, nach denen ich mich am meisten sehnte und die mir alle Tage süsse Stunden bereiten. Das Herz vom Gewühle der Welt entfernt, stimmt sich mächtig zur Andacht, und der grossartigen Natur lebend, kennt man nichts Schöneres als sich zu dem Schöpfer zu erheben. Auch das Schriftchen von Dr. *Strauss*, das der liebe Bruder hineingelegt hatte, und die Sternkarte vom lieben Vater erfreuten

mich sehr; letztere wird alle Abend exerciert, und *Strauss*sche Grundsätze finden so wundervollen Anklang in einem zu wahrer Frömmigkeit gestimmten Gemüte [1]).

In seiner besten Schaffensperiode, zwischen den Veröffentlichungen seines ersten und zweiten Aufsatzes, schrieb *Mayer* an *Lang* über den Tod seiner Mutter: „Die feste, auf wissenschaftliches Bewusstsein gegründete, von jedem Offenbarungsglauben gereinigte Ueberzeugung von der persönlichen Fortdauer der Seele und von einer höheren Lenkung der menschlichen Schicksale war mir der kräftigste Trost, als ich die kalte Hand meiner sterbenden Mutter in der meinigen hielt.“ In demselben Brief bemerkt er über Heilbronner Verhältnisse: „Bei vielem Sinn für Religiosität weiss man hier doch, dass der Pietismus der gebildeten Klasse aus Heuchelei entspringt.“

Als dann 1851 die traurige Zeit seiner Gehirn- und Gemütskrankheit anbrach, trat freilich das Gefühl der eigenen Sündhaftigkeit und ein Bedürfnis nach Behandlung religiös-exegetischer Fragen drängend in den Vordergrund, aber über seine Besserung 1852 schrieb *Mayer* 1863: „In kurzer Frist war auch eine völlige Veränderung mit mir vorgegangen; von schwärmerisch-pietistischer Sentimentalität keine Spur mehr; ich war wieder Mann geworden und fürchtete mich wie Doctor Faust weder vor Tod noch Teufel.“

In den gleichen Aufzeichnungen heisst es: „Nun bin ich älter geworden und lasse mich gerne wieder zu den Jüngern der Wissenschaft zählen, aber der Eifer für die Wahrheiten der christlichen Religion ist bei mir dennoch nicht im Erkalten.“ Warum oder inwiefern hier wie insbesondere am Schlusse des vorigen Aufsatzes gerade von der christlichen Religion die Rede ist, geht aus *Mayers* Schriften nicht hervor.

1866 gibt ihm eine Mitteilung an des „Ausland“ Gelegenheit zu der Bemerkung: „Immerhin ist es aber viel leichter, den Aberglauben mit Gründen zu bekämpfen, als denselben in der eignen Brust auszurotten, und schwierig ist es oft, den Wahn zu bekämpfen, ohne den Glauben zu verletzen.“

---

[1]) Es war dies fünf Jahre, nachdem *David Friedrich Strauss* „Das Leben Jesu, kritisch bearbeitet“, herausgegeben hatte, und deshalb im gleichen Jahre (1835) von seiner Tübinger Repetentenstelle entfernt worden war.

Im Vorwort zur „Mechanik der Wärme“ von 1867 erklärte *Mayer*, dass die metaphysische Seite des neuen Gegenstandes den Principien und Konsequenzen der materialistischen Anschauungsweise geradezu entgegengesetzt sei und verweist auf die ausführlichere Bearbeitung dieses Themas durch *Hirn*. (Vergl. S. 360). Im nächsten Jahre schrieb er in das Album des ärztlichen Vereins zu Heilbronn:

„Wir haben einen Geist zum Denken, eine Seele zum Fühlen und einen Leib zum Handeln und — Behandeln.“

Den 9. Februar 1868.

Dr. *J. R. Mayer,* Salufontanus.[1])

Mit diesen Anschauungen im Einklange stehen die Bemerkungen am Schlusse des letzten Aufsatzes. Der Ausgangspunkt der *Mayer*schen Lehren war das Ex nihilo nil fit und Nil fit ad nihilum für Ursachen und Wirkungen. Da er nun durch Materie und Kraft nicht alles erklären konnte, so nahm er mit *Hirn* noch ein drittes, ein geistiges Princip an, welches lenkt, nicht bewegt (vergl. S. 87, 356 und Aufsatz XIII), und für welches das Nil fit ad nihilum auch gelten sollte. Der Klippe, welche im Hinblicke auf das scheinbare Fehlen eines solchen Prinzips vor der Geburt in dem Ex nihilo nil fit liegen konnte, entging er durch die im letzten Aufsatz vertretene Ansicht, dass dieser Satz schon in der Physiologie keine Gültigkeit mehr habe.

Dass *Mayer* die Entscheidung in solchen Fragen nicht leicht wurde, geht z. B. aus einer brieflichen Aeusserung an *Moleschott* vom 13. December 1867 hervor[2]); er sagt, dass er sich umsoweniger darüber wundere, auf supranaturalem Gebiete mit *Moleschott* nicht in allen Punkten zu harmonieren, als er trotz seiner 53 Jahre mit sich selbst noch nicht ganz ins Reine habe kommen können. Es heisst dann weiter: „Immerhin werden wir uns selbst das Zeugnis geben können, und die Geschichte wird uns dasselbe nicht versagen, dass wir als redliche Arbeiter der Wahrheit nachgestrebt und dieselbe nach Kräften auch gefördert haben. Jeden aber, der zu denken wagt, auf den Scheiterhaufen führen zu wollen, dürfte zu unsrem Glücke schon aus ökonomischen Gründen nicht rätlich erscheinen.“

---

[1]) Salufontanus = Heilbrunner.

[2]) „Kleinere Schriften und Briefe“, XVII 8.

46.

Was *Mayer* zu denken wagte, wurde ihm aber doch übel genommen. Schon während seines Vortrags in Innsbruck machte sich bei den Worten über die Hypothese vom „freien Phosphor“ im Gehirn ein leises Gemurmel im Saale vernehmbar, welches jedoch den zu Ende gehenden Vortrag nicht mehr störte, so dass *Mayer* sich in einem Briefe an seine Frau befriedigt über die ihm gewordene Aufnahme äussern konnte. Sodann aber erschien in der Kölnischen Zeitung vom 22. September 1869 ein Bericht von *Carl Vogt* [1]), in welchem die Geschäftsführer der Naturforscherversammlung, „welche den Mann zu einem Vortrage einluden,“ zur Rede gestellt wurden, ob sie nicht die Stelle in *Tyndalls* Buch über die Wärme als Bewegung gelesen hätten, worin derselbe beklage, „dass des Entdeckers Geist von Nacht umhüllt sei.“

Etwas derartiges hatte *Tyndall* niemals geschrieben. Wenn man aber bedenkt, was alles in metaphysischen Fragen gesagt und gedruckt werden darf, wenn nur gewisse landläufige Tendenzen nicht verletzt werden, so wird man zwar immer noch bezweifeln können, ob *Mayer* Ort und Form seiner Darstellung zweckmässig gewählt hatte, gewiss aber das Recht freier Meinungsäusserung demjenigen nicht absprechen, welcher über Intoleranz aus wissenschaftlicher Orthodoxie die Ansicht bekannte: „Möge ein Eifer dieser Art die Geistlichkeit und den Pöbel jedes Glaubensbekenntnisses zieren, in letteris aber eine Meinungsverschiedenheit nie die Gemüter entzweien“ (1844).

Ob der Erguss von *Vogt*, in welchem der *Helmholtz*sche Vortrag gegenüber dem Dunkel von *Mayers* Geist glänzend in den Vordergrund trat, auszugsweise in andre Blätter überging, oder ob einzelne derselben sich direct ähnliche Artikel senden liessen, konnten wir nicht feststellen. Nach *Dühring* hat *Mayer* 1877 erwähnt, dass er den ihm bekannten Bericht von *Vogt* nicht selbst gelesen habe. Thatsache ist, dass *Mayer* auf der Rückreise von Innsbruck infolge eines Zeitungsartikels in München einen jener Erregungszustände zu überstehen hatte, wie sie ihn zeitweise zu befallen pflegten. Nach einigen Tagen Aufenthalt

---

[1]) Abgedruckt mit weiterem Material über die Innsbrucker Versammlung in „Kleinere Schriften und Briefe“ unter XXIII.

in einem Krankenhause konnte er jedoch allein nach Hause reisen.

Am 20. November 1869 schrieb *Mayer* an seine älteste Tochter *Elise*: „Die Schlussworte meines Innsbrucker Vortrags haben bewirkt, dass ich in verschiedenen Zeitungen heftig geschmäht worden bin. Meine ganze Antwort bestand darin, dass ich den Vortrag vollständig im „Ausland“ (Nr. 45) veröffentlicht habe. Im hiesigen Kaufmännischen Verein soll ich diesen Winter auch einen Vortrag halten. Mit Korrespondenzen bin ich aber überhäuft und zwar umsomehr, als ich dieselben nur sehr langsam abzufertigen pflege. Was habe ich von meinem wissenschaftlichen Ruhm? Nichts als verdriessliche Geschäfte.“

Andrerseits erhielt *Mayer* auch eine Reihe von Zustimmungskundgebungen. So schrieb ihm der Tübinger Physiker *Reusch*: „Ich danke Dir für die Offenheit, mit der Du in Innsbruck Deinen Glauben an etwas Höheres bekannt hast, und bedaure aufs tiefste, dass die Mehrheit der heutigen Naturforscher das Organ hierfür verloren haben.“ Als *Mayer* im September 1871 auf der Fahrt nach Kennenburg von einem Reisegefährten zugeredet wurde, in Stuttgart im Museumssaale einen Vortrag zu halten, berichtete er darüber an seine Frau: „Sogleich kam ich auf den Gedanken, wenn ich wieder einmal einen Vortrag halten sollte, über „philosophische Konsequenzen der neueren Wärmetheorie“ zu sprechen, und dabei das, was ich in Innsbruck in aphoristischer Kürze vorgetragen, des weiteren zu entwickeln.“

Soweit bekannt, hatte *Mayer* vor Innsbruck keinen wissenschaftlichen Vortrag gehalten; nun folgten aber mehrere verhältnismässig rasch aufeinander. Den nächsten hielt er im Juni 1870 in Neckarsulm vor etwa 20 Geistlichen aus der Umgegend von Heilbronn. Man hatte seinen Freund *Lang*, damals Dekan in Heilbronn, gebeten, ihn zu einem Vortrag zu veranlassen, und *Mayer* war gerne darauf eingegangen. Mit Rücksicht auf den Hörerkreis ist die Zusammenstellung des Vortrags zu beurteilen, in den Schlusssätzen dürften jedoch auch die Erfahrungen des letzten Jahres ihren Nachklang finden.

VIII.

Ueber Erdbeben.

(Vortrag, gehalten in Neckarsulm, in einem kleinen Kreise, im Juni 1870.)

Plutarch sagt in seinem Gastmahle der sieben Weisen: „das Leichteste ist das der Natur Angemessene," was ungefähr dasselbe ausdrückt, wie der bekannte Spruch *Bacos: simplex veri sigillum.* Eingedenk dieser Wahrheit will ich es heute versuchen, Ihnen in möglicher Kürze eine einfache Theorie der vulkanischen Erscheinungen vorzutragen, wie sich dieselbe aus der nun allgemein zur Herrschaft gelangten neueren Wärmetheorie sozusagen von selbst ergibt. Von jeher war es bekannt, was unsre Kinder ja auch schon im *Robinson* finden, dass sich Wärme auf mechanischem Wege, z. B. durch Reibung, gewinnen lässt. Die neue Wärmetheorie beruht aber darauf, dass genau numerisch nachgewiesen wird, wie viel mechanische Arbeit verbraucht werden muss, um eine bestimmte Menge von Wärme zu liefern, oder, was aber ganz auf das Gleiche hinausläuft, wie viel umgekehrt Wärme bei Hervorbringung einer bestimmten mechanischen Leistung konsumiert wird. Bedienen wir uns hierzu der nun immer mehr und mehr zu allgemeiner Geltung kommenden französischen Masse, wo die Einheit der Arbeit = 1 Meterkilogramm gesetzt wird, d. h. = der Erhebung von 1 Kilogramm Gewicht auf 1 Meter Höhe und die Einheit der Wärmequantität, Kalorie genannt,

= der Erwärmung von 1 Kilogramm Wasser um 1 Grad der hundertteiligen Skala ist, so müssen wir wissen, wie viel Arbeitseinheiten, d. h. also wie viel Meterkilogramm einer Wärmeeinheit oder Kalorie entsprechen. Bei Lösung dieser Aufgabe gelangt man auf ganz verschiedenen Wegen zu dem nämlichen Resultate. Man findet nämlich durch das Experiment, dass eine Kalorie = 425 Meterkilogramm ist, d. h. die Erwärmung von einem gegebenen Quantum Wasser um 1^0 C. ist die gleiche Leistung als die Erhebung von einem gleichen Gewichte von irgend welcher materiellen Beschaffenheit auf eine vertikale Höhe von 425 Meter. Diese konstante Grösse, deren Kenntnis für die Naturlehre von höchster Wichtigkeit ist, nennt man das mechanische Aequivalent der Wärme. Ein Beispiel wird diese zwischen der Wärme und der mechanischen Arbeit bestehende quantitative Beziehung noch anschaulicher machen. Unser Wartberg ist etwa 400 Fuss hoch. Ein Kilogrammgewicht also, das sich von der Zinne des Wartturmes bis zum Neckarspiegel schnell oder langsam herabsenkt, wird auf mechanischem Wege, sei es durch Stoss oder Reibung, so viel Wärme erzeugen, dass dadurch ein Kilogramm oder ein Liter Wasser nahe um $^1/_3\,^0$ C. erwärmt wird.

Das ist aber, werden Sie wohl alle sagen, für so viel Bewegung recht wenig Wärme! Nun, nehmen wir eine Kugel, die mit einer Geschwindigkeit von 500 Meter den Lauf verlässt; es entspricht diese Bewegung einer Fallhöhe, dreimal so hoch als der Montblanc, gibt aber, auf Wasser-
1 erwärmung reduziert, nicht mehr als $30\,^0$, während dagegen gute Steinkohlen durch Verbrennung $6000\,^0$, also 200mal mehr Wärme bei gleichem Gewichte liefern, als unsre frisch abgeschossene Kugel hervorzubringen vermöchte. Es geht aus diesen Zahlen klar hervor, dass die aus terrestrischen Bewegungen entwickelte Wärme in der Regel stärkeren chemischen Aktionen, also den Verbrennungsprozessen gegenüber völlig in den Hintergrund tritt, und es mag aus diesem Umstande zu erklären sein, dass es noch keine vollen 30 Jahre her sind, ehe man den zwischen der Wärme und der mecha-

nischen Arbeit bestehenden natürlichen und unveränderlichen Zusammenhang überhaupt klar erkannt hat, wie ja auch beim Sonnenlicht die hellsten Sterne von unsren Augen nicht gesehen werden. Etwas ganz andres ist es aber bei den kosmischen Bewegungen. Hier stehen den respektiven 2
Massen Fallräume zu Gebot, welche den terrestrischen Abständen gegenüber ganz ungeheuer sind. Um Ihnen dies recht deutlich zu machen, bitte ich Sie, dass Sie sich ein Gewicht vorstellen, welches einen Erdhalbmesser, also etwas über 800 geographische Meilen über den Boden erhoben ist; ein solches Gewicht wird, bis es zu Boden gelangt, 7500 ^{0} Wärme liefern, — ein thermischer Effekt, schon grösser als der Verbrennungseffekt von einem gleichen Gewichte von Steinkohlen und etwa 250mal so gross als der einer frisch abgeschossenen Kugel. Würde aber unser Gewicht aus unendlicher Entfernung von der Erde seinen Fall begonnen haben und auf dem Boden angelangt sein, so würde sein thermischer Effekt gerade das Doppelte von dem ebengenannten betragen, also = 15000 ^{0} sein, was den Verbrennungseffekt von einem gleichen Gewichte Steinkohlen schon um das 2 1/2fache übersteigt! Dabei ist wohl zu bemerken, dass, wie schon gesagt, die Temperaturgrade für das Wasser berechnet sind, welches bekanntlich eine sehr grosse Wärmekapazität besitzt; demnach müssen auch kosmisch bewegte Körper — gedenken wir dabei zunächst der Meteorsteine — sich in dem Masse noch mehr erhitzen, als ihre Wärmekapazität kleiner als die des Wassers ist.

Nachdem ich Ihnen nun in möglichster Kürze und, wie ich hoffe, auch in möglichst leicht verständlicher Weise die Grundlehre der bei mechanischen Vorgängen vor sich gehenden Wärmeentwickelung vorgetragen habe, können wir nun erst zur Auflösung unserer heutigen Aufgabe selbst übergehen.

Unser Planet ist, wie Sie wissen, eine feuerflüssige Kugel, die mit einer verhältnismässig nur sehr dünnen abgekühlten Schale bedeckt ist. Sehr vielfältige, genaue Beobachtungen und Untersuchungen haben nämlich gemein-

schaftlich dargethan, dass auf eine Tiefe von je 30 Meter eine Wärmezunahme von 1 ° C. kommt. Es folgt hieraus z. B., dass unser Wildbader Wasser ungefähr 800 Meter tief heraufsteigt; das Wasser andrer Thermen ist aber in dem Verhältnisse noch in grössere Tiefe eingedrungen, als dasselbe höher temperiert ist. Hieraus, sowie aus unzähligen andern Thatsachen geht mit Sicherheit hervor, dass die Temperatur unsrer Erde in der Tiefe von einigen Meilen schon eine so hohe ist, dass sich die ganze Masse der Substanzen in feuerflüssigem Zustande befinden muss. Nun entsteht die Frage: woher rührt diese Wärme? Bevor man im Besitze der neueren Wärmelehre war, konnte hierauf keine Antwort gefunden werden; jetzt aber lässt sich mit allem Grunde behaupten, dass diese Wärme mechanischen Ursprunges ist. Ohne Zweifel hat es nämlich einmal eine Zeit gegeben, aber dies ist freilich jedenfalls schon sehr, sehr lange her, wo unser Planet in seiner jetzigen Grösse noch nicht bestanden hat. Nehmen wir nun den einfachsten
3 Fall an, dass die Erde aus zwei gleichen Massen entstanden ist, welche sich umeinander bewegt haben, etwa wie der Mond sich um unsre Erde dreht, oder wie man noch besser sagen kann, wie Erde und Mond sich umeinander bewegen, bis diese beiden konstituierenden Erdmassen bei allmählich fortschreitender Annäherung endlich zusammengefallen sind, so ergibt sich aus einem solchen Zusammensturze für jedes Kilogramm Masse eine Wärmeentwickelung von 6000 Kalorien, und an der Hand dieser Rechnung begreift man nun sehr leicht, dass unser Planet einmal ganz aus einer feuerflüssigen Masse bestanden und sich erst durch einen ungeheuren Zeitraum hindurch bis zu seinem jetzigen Zustande abgekühlt hat. Beim ersten Augenblick wird Ihnen diese Behauptung oder dieser Schluss sehr unerweisbar oder hypothetisch klingen. Hier will ich Sie aber daran erinnern, dass im Laufe der historischen Zeiten schon öfters, und erst vor vier Jahren wieder, am Himmelsgewölbe das Auftreten
4 eines leuchtenden Punktes wahrgenommen worden ist, wo früher kein Stern zu sehen war; es ist dies die Erscheinung

der sogenannten temporären Fixsterne, die nach Monaten wieder zu verschwinden pflegen, und die ihre Entstehung nur dem Zusammensturze von für uns zuvor unsichtbar gewesenen Doppelsternen verdanken können, und es ist mir, wie ich bei dieser Gelegenheit zu bemerken nicht unterlassen kann, sogar sehr wahrscheinlich, dass der Stern, welcher den morgenländischen Magiern den Weg nach Bethlehem gezeigt hat, ein solcher temporärer Fixstern gewesen ist. Wie dem aber auch sein mag — wir leben mitten in der Ewigkeit und haben also auch eine Ewigkeit vor uns; dies ist aber ein langer Zeitraum, in welchem sich gar vieles ereignen kann, und sich auch schon vieles ereignet hat. — Kehren wir zur Gegenwart zurück. Wenn Sie mit mir über den jetzigen Zustand der Erde einverstanden sind, dass dieselbe nämlich aus einer feuerflüssigen Masse, die nur ganz oberflächlich erkaltet ist, besteht, so werden Ihnen die vulkanischen Erscheinungen, welche unser Planet darbietet, nicht nur nicht mehr rätselhaft, sie werden Ihnen vielmehr als notwendig vorkommen. Es ist, wie *Humboldt* sich ausdrückt, die Reaktion der im Innern feuerflüssigen Erdmasse gegen die Oberfläche. Diese Reaktion musste in vorgeschichtlichen Zeiten viel lebhafter gewesen sein, wofür sich noch unzählige Belege auf der Erdoberfläche vorfinden. Seitdem es Menschen gibt, geht die Abkühlung der Erde zwar verhältnismässig langsam, aber doch ununterbrochen fort, und diese Abkühlung ist es, mit der damit notwendig verbundenen Zusammenziehung der sich abkühlenden Masse, welche die Erdbeben und alle vulkanischen Aktionen bedingt. Glücklicherweise sind sehr starke, alles zerstörende Erderschütterungen keine gar zu häufigen Ereignisse, aber sicher ist es, dass, bald da, bald dort, die Erdoberfläche in unaufhörlichem Erzittern begriffen ist, wie auch von den vielen Vulkanen, durch welche feuerflüssiger Inhalt der Erde durch die Zusammenziehung der Erdrinde als Lava ausgepresst wird, immerfort welche im Gange sind.

Es ist aber hier wohl zu bemerken, dass schon vor mehr als einem halben Jahrhunderte der französische Phy-

siker *Cordier* die soeben von mir vorgetragene Theorie der vulkanischen Erscheinungen aufgestellt und ausführlich begründet hat. Aber auf der einen Seite war dieser ausgezeichnete Mann ohne die mechanische Wärmetheorie natürlich nicht im stande, von dem Ursprunge der inneren Erdwärme Rechenschaft zu geben, und auf der andern Seite stellte sich dazu noch dieser Theorie ein anscheinend unüberwindliches Hindernis entgegen. In dem Masse nämlich, in welchem sich der Erdkörper zusammenzieht, vermindert sich selbstverständlich auch dessen Durchmesser. Wie ein Pendel, wenn es sich verkürzt, bekanntlich schneller schwingt, so muss notwendig auch eine Durchmesserverminderung der Erde durch eine raschere Umdrehungsgeschwindigkeit derselben sich fühlbar machen. Nun hat aber *Laplace*, der grösste Astronom seiner Zeit, durch einen höchst scharfsinnigen Kalkul nachgewiesen, dass die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde seit *Hipparchs* Zeiten, also seit mehreren Jahrtausenden, ganz dieselbe geblieben ist. Man nennt dieses, wie bekannt, die Erhaltung des Sterntages, und die Physiker und Astronomen sahen sich genötigt, daraus den Schluss zu ziehen, dass keine Zusammenziehung des Erdkörpers durch Abkühlung statuiert werden dürfe, die Erdbebentheorie *Cordiers* mithin aufzugeben sei. Wie aber, möchte ich hier fragen, kann man sich eine Masse von der bekannten Beschaffenheit unsrer Erde vorstellen, ohne fortdauernde Abkühlung und folglich auch Zusammenziehung? Die mechanische Wärmetheorie, oder wie es *Helmholtz* nennt, das Gesetz von der Erhaltung der Kraft, hat auch dieses Rätsel gelöst. Es sagt nämlich dieses Gesetz, dass jede mechanische Leistung an einen proportionalen Verbrauch geknüpft ist. Die Erde aber ist zu zwei Dritteilen mit einer flüssigen Schichte bedeckt, welche unter dem anziehenden Einflusse von Mond und Sonne in ununterbrochen abwechselnder Hebung und Senkung begriffen ist, und es lässt sich durch Rechnung nachweisen, dass der dabei stattfindende Kraftverbrauch auf Kosten der Rotation der Erde geht. Merkwürdigerweise hat *Kant* schon vor einem Jahrhunderte es

eingesehen und ausgesprochen, dass durch die Ebbe und Flut ein verzögernder Druck auf die rotierende Erde ausgeübt wird. Abgesehen aber davon, dass *Kant* diese Sache 6
prinzipiell nicht ganz richtig aufgefasst hat, so hat er auf diese grosse Wahrheit auch keine weiteren Schlüsse gebaut. In einer im Jahr 1848 von mir veröffentlichten Schrift, betitelt: „Beiträge zur Dynamik des Himmels“, habe ich die zur Erhaltung der Gezeiten nötige lebendige Kraft, allerdings nur schätzungsweise, auf 6000 Millionen Pferdekräfte angenommen, und habe dabei gezeigt, dass jedenfalls der verzögernde Einfluss, den die Ebbe und Flut auf die Umdrehungszeit der Erde hat, so gross ist, dass er sich der Beobachtung nicht entziehen kann. Warum aber demungeachtet die Tageslänge nicht zugenommen hat, habe ich gesagt, kann nur davon herrühren, dass durch einen entgegengesetzten beschleunigenden Einfluss das Gleichgewicht wiederhergestellt wird. Dieser beschleunigende Einfluss aber ist nach dem Vorgetragenen leicht zu erraten; es kann derselbe in nichts anderem bestehen, als in der durch die fortlaufende Abkühlung bedingten Zusammenziehung des Erdkörpers.

In meiner vorhin erwähnten Schrift, welche, wie gesagt, vor 22 Jahren erschienen ist, habe ich den Sterntag, oder die Rotationszeit der Erde, noch nach *Laplace* als eine seit den letzten 2500 Jahren völlig konstant gebliebene Grösse angenommen, und habe dort gesagt, dass man bei der Rotationszeit der Erde drei grosse Perioden zu unterscheiden habe. Die erste dieser Perioden liege hinter uns, 7
es sei dies die Periode der zunehmenden Umdrehungsgeschwindigkeit. Soferne nämlich einmal auch die Oberfläche unseres Planeten in glühendheissem Zustande sich befunden habe, so habe notwendig die Abkühlung und Zusammenziehung so rasch vor sich gehen müssen, dass die Beschleunigung über die Hemmung weitaus das Uebergewicht gehabt habe. Die zweite Periode ist die des Gleichgewichtes, oder die der unverändert bleibenden Tageslänge. Nachdem nämlich die Abkühlung bis zu einem

gewissen Grade vorgeschritten war, musste sich dieselbe notwendig allmählich vermindern, was zur Folge hatte, dass sich ihr Einfluss mit dem verzögernden Einflusse der Ebbe und Flut ausgeglichen hat. Ich habe damals hinzugesetzt, „dass wir uns seit Jahrtausenden in dieser mittleren Periode befinden, ob aber am Anfange, oder in der Mitte, oder am Schlusse derselben, diese Frage zu beantworten, fehlen uns die Anhaltspunkte, und es müsse also die Entscheidung darüber künftigen Geschlechtern vorbehalten bleiben.“ Aber wir leben in einer schnellen Zeit und es hat inzwischen diese Frage schon ihre Beantwortung gefunden. Vor etwa zehn Jahren hat nämlich der englische Astronom *Adams* in London, durch die Entdeckung des verzögernden Einflusses der Ebbe und Flut veranlasst, den Nachweis geliefert, dass die Berechnung von *Laplace,* das Völlig-konstant-bleiben des Sterntages betreffend, nicht absolut genau ist, indem sich vielmehr die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde vermindert, der Sterntag also schon im Wachsen begriffen ist.
8 Es macht dies allerdings für Jahrtausende nur einen kleinen Bruchteil einer Sekunde aus, für ein volles Jahrtausend nämlich nur $^1/_{10}$ Sekunde, so dass wir über den menschlichen Scharfsinn staunen müssen, dem es gelungen ist, eine solche Minimalgrösse noch konstatieren zu können. Mit Zugrundelegung dieser neueren Berechnung von *Adams* können wir also nun sagen, dass wir uns zu Anfang der dritten Periode der Erdrotationsgeschwindigkeit befinden, in welcher der retardierende Einfluss der Ebbe und Flut beginnt über den accelerierenden Einfluss der Abkühlung das Uebergewicht zu bekommen. Gewiss ist aber auch, dass wenn der retardierende Einfluss allein bestände, die Verlangsamung der Achsendrehung viel merkbarer auftreten würde, als jetzt, wo dieselbe fast gänzlich durch den entgegengesetzten Einfluss kompensiert wird. Es lässt sich also mit aller Sicherheit behaupten, dass die Erde sich infolge des fortdauernden Wärmeverlustes anhaltend kontrahiert und dadurch stellenweise erzittert.

Aus dem Bisherigen geht klar hervor, dass das Auf- und

Eintreten der vulkanischen Erscheinungen, die Eruptionen der feuerspeienden Berge also, sowie der Erdbeben, von meteorologischen Vorgängen, von Tages- und Jahreszeiten, von Witterung und Barometerstand, vom Mondlaufe u. dergl. ganz unabhängig ist, und dass sich ihr sporadisches Auftreten überhaupt jeder Berechnung entzieht, was auch durch die Erfahrung vollständig bestätigt ist. Dagegen hängen diese Erscheinungen auf eine ausgezeichnete Weise mit der Bodenbeschaffenheit zusammen. Ein harter vulkanischer Grund und Boden ist sehr geeignet, Erschütterungen zu erleiden und fortzupflanzen, wogegen ein alluvialer poröser Boden, wie wir einen solchen glücklicherweise bewohnen, die Schwingungen nur schwach und gefahrlos weiter leiten. In solchen glücklichen Gegenden verlaufen die gefürchteten Prozesse sozusagen machtlos im Sande. Wenn aber auch, wie gesagt, die Witterungsverhältnisse keinerlei Einfluss auf vulkanische Erscheinungen auszuüben vermögen, so liegt es doch auf der Hand, dass umgekehrt diese letzteren für die ersteren von grosser Bedeutung sein müssen.

Mit Aufzählung und Beschreibung einzelner Erdbeben und vulkanischer Eruptionen will ich Sie wie billig nicht behelligen, da ich Ihnen in dieser Hinsicht nur Auszüge aus Schriften geben könnte, die Ihnen ohnedies zugänglich sind. Statt dessen will ich Sie lieber bei dieser Gelegenheit auf die instinktive Ahnung der Wahrheit aufmerksam machen, welche die griechische Mythologie auf so wundervolle Weise charakterisiert, und wovon auch die Auffassung des vulkanischen Feuers einen Beleg darbietet. Der *Hephäst* ist ein legitimer Sohn des *Zeus*. Ist damit nicht klar angedeutet, dass das vulkanische Feuer nicht terrestrischen, sondern kosmischen Ursprunges ist? Sodann lehrt der alte Mythus vom Phönix, dass selbst durch die Verbrennung nicht eine eigentliche Vernichtung bewirkt wird. Ferner ist nach *Empedokles* das Feuer ein Element, στοιχεῖον oder ῥίζωμα. Damit ist aber schon recht deutlich gesagt, dass die Wärme eine unzerstörbare Kraft ist, obwohl es erst unsrer Zeit vorbehalten blieb, das Gesetz von der Erhaltung

der Kraft numerisch festzustellen. Aber freilich war die Arithmetik, die Seele der Physik und Chemie, die Achillesferse des Altertums.

In der Bibel finden sich zur Erklärung der heute besprochenen Gegenstände keine Anhaltspunkte vor, und es ist dies ganz dem heiligen Charakter der Schrift entsprechend, welche uns nur erst da Auskunft zu erteilen pflegt, wo uns, was aber freilich nur gar zu oft geschieht, unser eigenes menschliches *ingenium atque judicium* im Stiche lässt. „Wer um die Göttin freit, suche in ihr nicht das Weib.“ Damit sind wir an einer Tagesfrage angelangt, das Verhältnis von Glauben und Wissen betreffend. Man gibt sich von gewisser Seite aus alle Mühe, dieses Verhältnis geradezu als ein feindseliges zu bezeichnen, — eine Ansicht, zu der ich mich durchaus nicht bekennen kann. Allerdings hat der Materialismus bis zu einem gewissen Grade seine Berechtigung. Die Materie existiert und in ihrer Existenz liegt auch das Recht ihrer Existenz. Wenn der Königsberger Philosoph die Welt in eine Centripetal- und eine Centrifugalkraft auflösen wollte, so hat er sich hier einer ungeschickten und verwirrenden
9 Terminologie bedient, die schon im Prinzipe verfehlt und nicht lebensfähig ist. Dieselbe ist auch von der Wissenschaft längst aufgegeben worden. Man möchte bei *Kant* anzufragen versucht sein, was ist Vernunft? Vernunft ist die subjektive Religion und Religion ist die objektive Vernunft. Die ewige Vernunft möchte ich mir aber nicht getrauen, mit kritischem Massstabe ausmessen zu wollen. Die Naturwissenschaften haben sich zum Glück von philosophischen Systemen emancipiert und gehen an der Hand der Erfahrung mit gutem Erfolge ihren eigenen Weg. Wenn aber oberflächliche Köpfe, die sich gerne als die Helden des Tages gerieren, ausser der materiellen, sinnlich wahrnehmbaren Welt überhaupt nichts Weiteres und Höheres anerkennen wollen, so kann solch lächerliche Anmassung einzelner der wahren Wissenschaft nicht zur Last gelegt werden, noch viel weniger aber kann sie derselben zu Nutz und Ehre gereichen.

Anmerkungen des Herausgebers.

1. Für ein Wassergewicht gleich dem der Kugel. Ueber „Grad Wärme“ siehe die Anmerkungen 3 und 5 zu Aufsatz III, S. 216.

2. Näheres oben S. 68, 170, 171.

3. Vergl. oben S. 198 und über das Folgende überhaupt Aufsatz III, Kapitel 9.

4. Einen kleinen Aufsatz *Mayers* aus diesem Anlass enthalten „Kleinere Schriften und Briefe“ unter IX 4 („Ueber temporäre Fixsterne“).

5. Vergl. oben S. 205.

6. *Kant*, Untersuchung der Frage, welche von der K. Akademie der Wissenschaften in Berlin zum Preise für das laufende Jahr aufgegeben worden: ob die Erde eine Veränderung in ihrer Achsendrehung erfahren habe, welches die Ursache davon sei, und woraus man sich ihrer versichern könne? 1754. Abgedruckt in der *G. Hartenstein*schen Ausgabe von *Kants* Werken, VIII, Leipzig 1838.

7. Siehe oben S. 213.

8. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, London, 1853 April 6, 1859 June 8. Vergl. Comptes rendus, 1865 LXI, p. 1023, sowie *Thomson* und *Tait*, Handbuch der theoretischen Physik (deutsche Ausgabe, Braunschweig 1871—74) §§ 276, 405, 830. Siehe auch „Kleinere Schriften und Briefe“, XI 4,

9. Vergl. Anmerkung 19 zu Aufsatz III, S. 222.

Robert Mayer.

47.

„Die Naturwissenschaften haben sich zum Glück von philosophischen Systemen emancipiert und gehen an der Hand der Erfahrung mit gutem Erfolge ihren eigenen Weg.“ Mit diesen Worten des letzten Aufsatzes bestätigte *Mayer* 1870 seinen 25 Jahre zuvor wie folgt gekennzeichneten Standpunkt: „Die echte Wissenschaft begnügt sich mit positiver Erkenntnis und überlässt es willig dem Poeten und Naturphilosophen, die Auflösung ewiger Rätsel mit Hilfe der Phantasie zu versuchen.“

Wenn *Mayer* „alles mit göttlicher Zweckmässigkeit geordnet“ findet (1848), wenn er nicht aufhört, schon im Gebiete der unbelebten Welt die Weisheit dessen zu bewundern, der die Himmel und unsere Erde geschaffen hat“ (1871), so liess er doch Wunder wie die Erschaffung einer physischen Kraft auch in der Physiologie nicht zu und machte die von manchen Vitalisten dem Säuglinge als Erbstück mit auf den Weg gegebene Wärmemenge in gebührender Weise lächerlich (1845). „Der Urgrund der Dinge ist ein dem Menschenverstande ewig unerforschliches Wesen — die Gottheit, — wohingegen „höhere Ursachen“, „übersinnliche Kräfte“ u. dgl. mit all ihren Konsequenzen in das illusorische Mittelreich der Naturphilosophie und des Mysticismus gehören“ (1851).

Anfangs glaubte *Mayer* allerdings, dass seine Naturanschauung auch wichtige Fragen der Metaphysik zu lösen vermöge, und Spekulationen über Materie und Kraft wies er nicht von der Hand (1841), aber schon 1844 erklärte er *Griesinger*, er habe sich möglichste Klarheit und Freiheit von allem Hypothetisierten und eitel Spekulationen zur ersten Aufgabe gemacht,

die Behandlung physiologischer Fragen vom metaphysischen Standpunkte disgoutiere ihn unendlich, und 1845 schrieb er neben dem oben Erwähnten: „Die scharfe Bezeichnung der Grenzen menschlicher Forschung ist für die Wissenschaft eine Aufgabe von praktischem Werte, während die Versuche, in die Tiefen der Weltordnung einzudringen, ein Seitenstück bilden zu dem Streben des Adepten.“ —

Die fraglichen Grenzen bezeichnete *Mayer* 1851 wie folgt: „Die wichtigste, um nicht zu sagen einzige Regel für die echte Naturforschung ist die: eingedenk zu sein, dass es unsre Aufgabe ist, die Erscheinungen kennen zu lernen, bevor wir nach Erklärungen suchen oder nach höheren Ursachen fragen mögen. Ist einmal eine Thatsache nach allen ihren Seiten hin bekannt, so ist sie eben damit erklärt, und die Aufgabe der Wissenschaft ist beendigt.“

Auch die vielfach hervorgehobene und sehr mit Unrecht gegen *Mayer* ausgenutzte Thatsache, dass er die Bewegungsnatur der Wärme nicht habe gelten lassen, entsprang bei ihm dem „Streben nach Positivem“. Bewiesen war für ihn nur die Bewegungsnatur der strahlenden Wärme, deshalb begnügte er sich damit, die Wärme im übrigen für eine Form der Energie anzusehen [1]), was das innere Wesen derselben sei, wisse er nicht, das aber wisse er, dass er den Zusammenhang vieler Erscheinungen weit klarer sehe, als man bisher gesehen habe (1842). Innerhalb dieser Grenzen ging er von Anfang an radikaler vor als irgend ein anderer, ohne sich durch alte Irrtümer oder neue Autoritäten beeinflussen zu lassen, er äusserte drastisch: „Da muss man mit der Katze durch den Bach.“

Wenn nun auch bei *Mayer* in späteren Jahren religiöse Stimmungen wieder mehr zur Geltung kamen, so gestattete er ihnen doch keinen Einfluss auf die Behandlung physikalischer Fragen. Ja er bezeichnete 1867 ausdrücklich als ein bleibendes Verdienst von *Moleschott* die Vertheidigung des Satzes, „dass wissenschaftliche Gegenstände und Forschungen nicht mit religiösen Dogmen oder gar kirchlichen Fragen vermischt werden dürfen.“ Auf physikalischem Gebiete blieb er bei seinem Ausspruche von 1844: „Wahrlich ich sage euch, eine einzige Zahl hat mehr wahren und bleibenden Wert als eine kostbare Bibliothek voll

---

[1]) Vergl. Anmerkung 10 zu Aufsatz I, S. 32.

Hypothesen“ (S. 145). Das zeigte sich auch wieder bei dem folgenden Vortrage, mit welchem *Mayer* einem im November 1869 ausgesprochenen Wunsche der Leitung des Kaufmännischen Vereins zu Heilbronn entgegenkam. In gleichem Sinne wie schon in dem Aufsatze IV von 1851 und in einfachster Weise legt er die fundamentale Bedeutung unveränderlicher Bezugsgrössen und insbesondere des mechanischen Wärmeäquivalents dar.

IX.

Ueber die Bedeutung unveränderlicher Grössen.

(Vortrag, gehalten im Kaufmännischen Vereine in Heilbronn, am 3. November 1870.)

In unsrem praktischen Jahrhunderte hat sich vielseitig auch wieder das Bedürfnis nach richtigen theoretischen Prinzipien kundgegeben, und ich glaube diesem erfreulichen Umstande auch die mir zu Teil gewordene ehrenvolle Aufforderung, vor Ihnen einen Vortrag zu halten, beimessen zu dürfen. Da mir die Wahl des Gegenstandes überlassen worden ist, so habe ich mir zur Aufgabe gesetzt, mit Ihnen heute über die wichtige Rolle, welche die unveränderlichen Grössen, oder die sogenannten Konstanten in der Welt spielen, zu sprechen.

Es ist Ihnen allen bekannt, dass schon in der ältesten Urkunde, in der Mosaischen Schöpfungsgeschichte nämlich, eine richtige Zeiteinteilung nach Tagen und Wochen zu finden ist. Noch jetzt sind aber der Tag und das Jahr unveränderliche Grössen, deren wir zur Messung der kleinsten wie der grössten Zeiträume unumgänglich bedürfen. Mittelst dieser Zeitgrössen, die sich so einfach und so augenfällig darbieten, hat man dann auch Raumgrössen nach ganzen und halben Tagreisen, Stunden u. s. w. gemessen. Ausserdem hat man vielfältig Teile des menschlichen Körpers gerne zu Längenmessungen benutzt. Die Elle, d. h. die Länge vom Ellenbogen bis zur Spitze des kleinen Fingers, der Fuss

oder Schuh, der Zoll, d. h. die Länge des vordersten Daumengliedes, sind Beispiele von unveränderlich sein sollenden Masseinheiten. Man sieht aber leicht, dass alle solche Messungen oder vielmehr Längeneinheiten viel Unbestimmtes und Willkürliches haben, woher auch das bekannte Sprichwort rühren mag: das hat der Fuchs gemessen und den Schwanz dreingegeben. Sehr lange hat es aber gewährt, es sind sechs Jahrtausende darüber hingegangen, bis es gelungen ist, eine ganz sichere und völlig befriedigende Raumeinheit der Zeiteinheit hinzuzufügen.

Um ein unveränderliches Längenmass zu gewinnen, hat zuerst die schwedische Regierung, wie hier beiläufig bemerkt werden mag, gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts die Länge des Sekundenpendels genau bestimmen lassen. Es ist dies die Länge eines Fadens, an welchem ein aufgehängtes Gewicht in jeder Sekunde eine Schwingung macht; ohne dass aber später diesem Gegenstande eine weitere praktische Folge gegeben worden wäre. Dagegen war es im Jahre 1794, in welchem Frankreich das jetzt überall verbreitete metrische System einführte. Das Meter ist ein Hauptbeispiel einer unveränderlichen Grösse. Um diese Längeneinheit zu erhalten, mussten sehr genaue Messungen unsres Erdkörpers vorgenommen werden. Es ist nämlich das Meter genau der zehnmillionste Teil eines Bogens, welcher vom Aequator durch Paris an den Nordpol gezogen wird, also der zehnmillionste Teil eines Erdquadranten. Merkwürdigerweise ist das Meter der Länge des Sekundenpendels nahe genau gleich. Noch mag hier bemerkt werden, dass nach meiner Untersuchung das Volumen unsrer Erde nicht völlig konstant bleibt, indem durch die Abkühlung derselben eine fortlaufende, wenn auch noch so langsame
1 Zusammenziehung bedingt ist. Es ist dies aber ein Umstand, welcher auf viele, viele Jahrhunderte hindurch keinen bemerkbaren Einfluss auf die Meterlänge, als eines unveränderlichen Bruchteiles des Erdquadranten haben kann.

Nachdem wir nun zuerst für die Zeit, sodann auch für den Raum unveränderliche Masseinheiten gefunden haben,

welche im wesentlichen auf der Umdrehungszeit und dem Umfange unsres Planeten beruhen, so wollen wir uns nun nach anderweitigen Konstanten umsehen. Es ist ein in der Wissenschaft unsterblicher Mann, *Archimedes*, welcher vor etwa 2000 Jahren den Grund zur Mechanik gelegt hat, indem dieser grosse und tiefe Denker die Gesetze des Hebels entdeckt hat. Von ihm rührt der Satz her, dass der von einem Gewichte ausgeübte Druck in unveränderlicher Beziehung zur Länge des Hebelarmes steht, und dass dieser Druck dieser Länge direkt proportional ist. Ausserdem hat dieser grosse Mann auch das specifische Gewicht entdeckt, woraus sich ergibt, dass alle Substanzen in unveränderlichen Gewichtsverhältnissen zu einander stehen. Freilich hat es aber noch einer sehr langen Zeit bedurft, bis diese grossen Errungenschaften, welche für die Wissenschaft von unentbehrlicher Wichtigkeit sind, zu weiterer lebenskräftiger Entwickelung gelangt sind. Um das specifische Gewicht der Körper zu bestimmen, setzt man bekanntlich für tropfbarflüssige und feste Substanzen das des Wassers —, für Gase das der atmosphärischen Luft = 1, woraus sich für das specifische Gewicht andrer Körper ebenfalls wieder unveränderliche Zahlen ergeben, z. B. für das Eisen die Zahl 6, d. h. ein gleiches Volumen Eisen wiegt etwa sechsmal so viel als das des Wassers. Blei und Silber haben die Zahl 11, Quecksilber 13½, Gold 19, Platin 22 u. s. w. u. s. w. Wenn sich aber das specifische Gewicht tropfbar-flüssiger und fester Körper leicht auffinden lässt, so ist die Aufgabe schwieriger bei den elastisch-flüssigen Substanzen, den Gasen. Um hier die konstanten Gewichtsbeziehungen aufzufinden und festzustellen, dazu bedarf es des Barometers und Thermometers. Bei diesen beiden Instrumenten spielen aber wieder unveränderliche Grössen eine wichtige Rolle. Obgleich nämlich der Stand des Wetterglases, wie jedermann weiss, ein stets veränderlicher ist, so lässt sich doch der mittlere Barometerstand als eine unveränderliche, genau bestimmbare Grösse betrachten und zum Druckmesser elastischer Flüssigkeiten benutzen. Dieser Barometerstand, welcher der atmo-

sphärische Druck genannt wird, beträgt 0,76 Meter oder 76 Centimeter Höhe und entspricht dem mittleren Druck unsrer Atmosphäre an dem Meeresspiegel. Man bedarf dieser unveränderlichen Zahl u. a. notwendig, um die Leistung der Dampfmaschinen bestimmen zu können. Zu dem Ende muss nämlich der Druck, den der arbeitende Dampf ausübt, in Zahlen ausgedrückt, d. h. also nach Einheiten gezählt werden, und dies geschieht eben dadurch, dass man den atmosphärischen Druck im Mittel = 1 setzt und hiernach den Dampfdruck bestimmt.

Der Druck einer Atmosphäre ist aber, wie schon gesagt, = dem Druck einer Quecksilbersäule von 76 Centimeter, oder einer Wassersäule von 10 Meter (32 Fuss) Höhe. Das Instrument, mittelst dessen der Dampfdruck in Atmosphären gemessen wird, das Manometer, englisch *the steam-scale,* ist Ihnen allen bekannt.

Die sogenannten permanenten Gase, d. h. solche Gase,
2 die entweder gar nie oder wenigstens nur sehr schwer — bei sehr hohem Drucke und sehr niederer Temperatur — tropfbar-flüssig gemacht werden können, haben die Eigenschaft, dass ihr Volumen stets genau dem auf sie ausgeübten Drucke umgekehrt proportional ist, d. h., dass z. B. ein gegebenes Quantum von einem Gase bei doppeltem Drucke gerade den halben Raum einnimmt als bei einfachem Drucke u. s. w. Diese Thatsache nennt man nach ihrem Entdecker bekanntlich das *Mariotte*sche Gesetz, und ich will Sie bei dieser Gelegenheit darauf aufmerksam machen, dass überhaupt die Naturgesetze alle in unveränderlichen Grössenbeziehungen, resp. Zahlen, ihren mathematisch bestimmten Ausdruck finden. Freilich kann es nicht meine Aufgabe sein, in kurzer Abendstunde ein alle Gebiete der Wissenschaft umfassendes Thema erschöpfend vor Ihnen zu behandeln, vielmehr muss ich mich darauf beschränken, Ihnen nur das Hauptsächlichste in gedrängter Darstellung vorzuführen, wozu ich mich um so mehr veranlasst sehe, da ich weiss, dass in den meisten populär gehaltenen und allenthalben verbreiteten Schriften und Abhandlungen über „Natur-

gesetze“ und „Naturkräfte“ nur oberflächliche und konfuse Vorstellungen enthalten sind.

Kehren wir zu den Gasen zurück. Wir haben soeben gesehen, in welcher Weise das Volumen vom Drucke abhängig ist. Nun fragt es sich aber auch, welchen Einfluss die Temperatur auf das Volumen äussert. Auch hier haben wir wieder Grössenbeziehungen, die zwar bei verschiedenen Gasen etwas verschieden, bei denselben Gasen aber konstant sind. Bei der atmosphärischen Luft z. B. beträgt bei gleichbleibendem Drucke die Ausdehnung bei der Erwärmung um 1^0 der hundertteiligen Skale $^1/_{274}$ des ganzen Volumens. Man nennt diesen Bruch den *Gay-Lussac*schen Ausdehnungskoeffizienten, dessen Kenntnis wiederum für den Physiker von unentbehrlicher Wichtigkeit ist. Um aber die Temperatur zu messen, dazu bedarf man des Thermometers, dessen Einrichtung allbekannt ist, und ich will Sie deshalb nur ganz kurz darauf aufmerksam machen, dass zur Konstruktion des Thermometers ebenfalls wieder unveränderliche feste Punkte erforderlich sind, wozu man, wie Sie wissen, am besten den Gefrier- und Siedepunkt des Wassers (letzteren bei 0,76 Meter Barometerhöhe gemessen) benutzt. Der Raum zwischen diesen beiden festen Punkten wird nach *Réaumur* in 80, nach *Celsius* in 100 gleiche Teile oder Grade eingeteilt.

Die Mechanik, meine Herren, ist bekanntlich die Lehre von der Ruhe oder vom Gleichgewichte: die Statik, und die Lehre von der Bewegung: die Dynamik, und es umfasst also dieselbe, wie man leicht einsieht, eigentlich die ganze weite Schöpfung Gottes. Die hohe Stufe, welche die Naturwissenschaften dermalen einnehmen, den grossen Einfluss, welchen sich dieselben auf das praktische Leben erworben haben, wovon u. a. auch die richtige Anwendung der Wärme und der Elektrizität Zeugnis gibt, diese hohe Stufe, diesen grossen Einfluss verdanken dieselben lediglich der richtigen Verwendung richtiger mechanischer Prinzipien. Von *Archimedes*, dem Gründer der Mechanik, von dem schon eingangs die Rede war, ist ein Zeitraum von etwa 1800

Jahren verflossen, bis *Galilei* dieser Wissenschaft einen weiteren mächtigen Aufschwung verschafft hat. Dieser Fortschritt beruht abermals wieder in der Auffindung einer unveränderlichen Grösse, oder, wenn ich mich des wissenschaftlichen Sprachgebrauches bedienen soll, in der Entdeckung einer Konstanten. Bis auf *Galilei*, der am 15. Februar 1564 in Pisa das Licht der Welt erblickte, befand man sich in Beziehung auf die Fallgesetze vollkommen im Dunkeln und hegte in betreff der einfachsten und allernächstliegenden der Bewegungen, der Fallbewegung nämlich, ganz irrige Begriffe. Erst durch *Galilei* wissen wir, dass alle Körper, seien sie leicht oder schwer, gross oder klein, mit Abrechnung des Luftwiderstandes, bei gleicher Fallzeit gleiche Endgeschwindigkeit bekommen, dass also alle Körper gleich schnell fallen, und dass sich die erlangte Geschwindigkeit der Fallzeit, das Quadrat der Endgeschwindigkeit aber sich dem Fallraume proportional verhält. Dabei konnte aber dieser grosse Mann noch nicht stehen bleiben. *Galilei* musste erforschen, wie gross die einer bestimmten Fallzeit, z. B. einer Sekunde, entsprechende Endgeschwindigkeit sei, und so fand dieser scharfsinnige und unermüdliche Forscher durch Beobachtungen und Berechnungen des Pendels, dass ein Gewicht in der ersten Sekunde 15 Pariser Fuss hoch herabfällt und in dieser Fallzeit eine Endgeschwindigkeit von 30 Fuss erlangt. Man bezeichnet diese unveränderliche Grösse mit dem Anfangsbuchstaben des lateinischen Wortes „*gravitas*“, also mit dem kleinen lateinischen Buchstaben g. Mit der Entdeckung und Einführung dieser Konstanten beginnt eine neue Aera in der Mechanik und in der Entwickelung aller Naturwissenschaften.

Die bekannten Formeln $c = gt$ u. s. w., die sich hieraus für die Fallbewegungen ergeben, können aber nur für kleine, nicht gar viele Sekunden umfassende Zeiträume und also auch nur für kleine, d. h. nur für solche Fallräume oder Fallhöhen, welche im Vergleiche zum Erdhalbmesser, der beiläufig eine Grösse von 800 geographischen Meilen hat, als unendlich klein betrachtet werden können, ihre volle

Gültigkeit haben, und es hat von den Entdeckungen *Galileis* an gerechnet noch etwa 80 Jahre bedurft, bis *Newton* das Gesetz der allgemeinen Schwere aufgefunden hat. Diesem Gesetze gemäss verhält sich die Anziehung der Massen umgekehrt wie das Quadrat ihrer Entfernung, oder wie man auch sagen könnte, die Anziehung verhält sich wie das Quadrat der Nähe. Jedenfalls konstatiert das *Newton*sche Gravitationsgesetz eine zwischen der Massenanziehung und dem Massenabstande stattfindende unveränderliche Grössenbeziehung. Soviel mir aber bekannt ist, ist es erst mir gelungen, die unveränderliche Zahl oder die Konstante aufzufinden, in welcher das Gravitationsgesetz so recht eigentlich verkörpert ist. Hier handelt es sich darum, die ganze Bewegungsgrösse aufzufinden und numerisch zu bestimmen, welche durch Massenanziehung und Massenzusammensturz gewonnen wird. Gehen wir von unsrem Planeten aus, so ist die Frage zu beantworten: mit welcher Endgeschwindigkeit kommt ein aus unendlicher Entfernung herabfallendes Gewicht auf der Erdoberfläche an? Schon vor 25 Jahren habe ich diese Zahl gefunden und veröffentlicht; es beträgt nämlich diese Geschwindigkeit 34450 Pariser Fuss oder $1\frac{1}{2}$ geographische Meilen in der Sekunde. Für unsre Sonne aber ist diese Geschwindigkeit = 85 geographische Meilen per Sekunde. (Man vergleiche hierüber meine „Mechanik der Wärme“ pag. 60 und 167.) Im Gegensatze zu dem 3 vorhin erwähnten kleinen g habe ich diese Maximalgeschwindigkeit mit dem grossen lateinischen G bezeichnet und es lassen sich mit Hilfe dieser Konstanten eine Menge von Berechnungen, an welche früher nicht gedacht worden, leicht ausführen. Dass dieser Gegenstand inzwischen unbeachtet geblieben, nimmt demselben glücklicherweise nichts an Wert.

Aus dem Bisherigen werden Sie schon zur Genüge ersehen haben, dass der Naturforscher der unveränderlichen Grössen vor allem dazu bedarf, um Masseinheiten zur quantitativen Bestimmung seiner Untersuchungsobjekte zu gewinnen. Solche Masseinheiten haben wir im Vorhergehenden

für Zeit und Raum, für den Druck und das specifische Gewicht, für die Fallgeschwindigkeit auf der Erde und für die Massenanziehung im Weltraume kennen gelernt, und wir wollen nun zu noch konkreteren Gegenständen, zur Messung von Arbeit und Wärme übergehen. Unter Kraft oder Arbeit versteht man neuerdings in erster Linie die Erhebung eines Gewichtes auf eine gewisse Höhe und die dieser Gewichtserhebung entsprechende Fallgeschwindigkeit oder Bewegung — den mechanischen Effekt. Nach dem metrischen Systeme, von welchem schon die Rede war, ist die Gewichtseinheit das Kilogramm, die Kraft- oder Arbeitseinheit aber ist die Erhebung von 1 Kilogramm auf 1 Meter senkrechte Höhe, und man nennt diese unveränderliche Grösse oder Krafteinheit „Kilogrammmeter“ oder „Meterkilogramm“. Um die Wärme quantitativ zu bestimmen, nimmt man das Wasser zu Hilfe, und nennt die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser von 0^{0} auf 1^{0} Celsius zu erhöhen, eine Wärmeeinheit oder Kalorie. Wo es übrigens gilt, sehr grosse Wärmequanta in Rechnung zu bringen, da bedient man sich bequemerweise auch eines viel grösseren Massstabes. Man setzt hier die Wärme, welche die Temperatur von einer geographischen Kubikmeile Wasser um 1^{0} erhöht, gleich 1, und heisst diese Masseinheit „Wärme-
4 kubikmeile“ oder „Grosskalorie“.

Es kann an dem heutigen Abende nicht meine Absicht sein, mich über die neuere Wärmetheorie, deren Urheberschaft mir nicht mehr abgesprochen wird, eingehend zu verbreiten; wohl aber gehört es hierher, Ihnen zu sagen, dass diese Theorie auf einem Naturgesetze beruht, welches ebenfalls, wie die bisher erwähnten Gesetze, in einer unveränderlichen Grösse, in einer konkreten Zahl, seinen numerischen Ausdruck findet. Die mechanische Wärmetheorie lehrt nämlich die unveränderliche quantitative Beziehung, die zwischen der Arbeit und der Wärme besteht, kennen, und sie lehrt uns ferner, wie viel Arbeitseinheiten zur Hervorbringung einer Wärmeeinheit erforderlich sind, und umgekehrt auch wieder, was aber auf dasselbe hinauskommt, wie viele

Arbeitseinheiten aus einer Wärmeeinheit gewonnen werden können. Die Beantwortung dieser Frage kann nur auf dem Versuchswege geschehen, auf welchem gefunden wurde, dass eine Wärmeeinheit 425 Arbeitseinheiten oder 1 Kalorie 425 Meterkilogramm entspricht. Diese Konstante ist das mechanische Aequivalent der Wärme, und es ist jetzt beiläufig gesagt 28 Jahre her, dass ich auf diese Konstante aufmerksam gemacht habe.

Gestatten Sie mir, ehe wir aus dem Gebiete der Physik zu dem der Chemie, oder aus dem Gebiete der unwägbaren zu dem der wägbaren Substanzen übergehen, noch eine kurze Bemerkung. Was „Kraft“, was „Wärme“ ist, brauchen wir nicht zu wissen; es werden diese Ausdrücke, wie andre Ausdrücke auch, in verschiedenem Sinne gebraucht, und es mag jedermann über das Wesen der Dinge „an sich und für sich, und an und für sich“ denken, was und wie er will, aber das müssen wir wissen, wie man die Kraft 6
oder Arbeit und die Wärme nach unveränderlichen Einheiten, also wie wir gesehen haben, nach Meterkilogramm und Kalorien zählt, und dass und welche unveränderliche Grössenbeziehung zwischen dem Meterkilogramm und der Wärmeeinheit stattfindet. Dieses Wissen ist es, welches die Grundlage einer neuen Wissenschaft bildet und welches eine Neugestaltung der Naturwissenschaften hervorruft, so wie die gegenwärtigen Weltereignisse die Politik umgestalten.

Dem Chemiker ist es vergönnt, seine Untersuchungsobjekte unmittelbar mittelst der Wage quantitativ zu bestimmen. Die Chemie wurde aber erst vor hundert Jahren dadurch zu einer exakten Wissenschaft, als es *Lavoisier* gelang, die zwischen den verschiedenen Stoffen bestehenden unveränderlichen Grössenbeziehungen aufzufinden, welche man Mischungsgewichte, und deren Kenntnis man die Stöchiometrie nennt. *Lavoisier* gelangte hierzu bekanntlich dadurch, dass er die Zusammensetzung des Wassers ent- 7
deckte, welches aus einem Gewichtsteile Wasserstoff und acht Gewichtsteilen Sauerstoff, oder aus einem Volumteil

Sauerstoffgas und zwei Volumteilen Wasserstoffgas besteht. Derartige unveränderliche Grössenbeziehungen wie hier beim Wasser, also beispielsweise hier das Gewichtsverhältnis 1 : 8, beziehungsweise das Volumverhältnis 2 : 1, bestehen aber bei allen übrigen, einfachen sowohl als zusammengesetzten Stoffen und zwar merkwürdigerweise in möglichster Einfachheit der Zahlen, und erst die Kenntnis dieser unveränderlichen Verhältniszahlen hat die Chemie zu dem Range einer Wissenschaft erhoben. —

Meine Herren! Was man vor allem zu zählen pflegt, ist das Geld. Um aber unser Geld zählen zu können, dazu bedürfen wir eben wieder einer unveränderlichen Grösse, einer Einheit, wie z. B. bei uns der Gulden oder der Kreuzer. Eine solche Einheit ist uns aber nicht, wie die unveränderlichen Grössen, von denen bisher die Rede war, durch die Natur geboten, sondern sie ist ihrem Wesen nach konventionell. Sehen wir uns in der Geschichte um; so erzählt schon *Moses* im 1. Buche 37. Kapitel, wie *Joseph* von seinen Brüdern an die Medianiter um 20 Silberlinge verkauft wurde. Nach unsrem Sprachgebrauche würde man wohl statt Silberlingen „Thaler“ zu sagen haben. Wie dem aber auch sein mag, wir sehen daraus, dass schon damals, also schon vor einer Reihe von Jahrtausenden, das Geld nach Einheiten gezählt wurde. Ich will mich aber hier nicht bei der Geschichte des Geldes aufhalten, sondern wende mich gleich zur Gegenwart. Das französische Münzsystem ist heutzutage das bekannteste und verbreitetste. Es gründet sich dasselbe auf das metrische System, indem 5 Gramm Silber 1 Franken, 1 Pfund also oder ½ Kilogramm Silber 100 Franken geben. Es ist durch diese Bestimmung der moderne Frank dem früher gebräuchlichen Livre nahe genau gleich geblieben. Aber trotz seiner unleugbaren Vorzüge ist doch das französische Münzsystem, wie Sie besser als ich wissen, noch zu keiner so universalen Verbreitung gelangt als das metrische System, indem bis jetzt nur einige mit Frankreich in besonders starkem Verkehr stehende Nachbarstaaten, also Belgien, Italien und die Schweiz, das französische Münz-

system *pure* angenommen haben. Es steht aber meiner Ansicht nach der allgemeinen Einführung des französischen Münzsystemes das wesentliche Hindernis entgegen, dass bei demselben eine Schattenseite, welche schon das metrische System vom dekadischen Zahlensysteme überkommen hat, in erhöhtem Grade hervortritt und sich im Verkehre nothwendig mehr und mehr fühlbar macht. Ich erinnere Sie an das Sprichwort: Zeit ist Geld. Es liegt in diesem Spruche eine tiefe Wahrheit, und auch unser rheinisches Münzsystem hat diesem Satze bewusst oder unbewusst Rechnung getragen, indem dasselbe, der natürlichen Kreiseinteilung, von der wir nun gleich sprechen müssen, konform, die Hauptmünze, den Gulden, in 60 Kreuzer teilt. Die Zeiteinteilung nämlich, von der gleich von vornherein in meinem Vortrage die Rede war, wird uns von der Natur durch die Achsendrehung unsres Planeten und die dadurch bewirkte scheinbare Kreisbewegung des relativ feststehenden Himmelsgewölbes sozusagen in die Hand gedrückt. Die Zeiteinteilung hängt also innig mit der Kreiseinteilung zusammen. Wie Sie aus der synthetischen Geometrie wissen, gibt es eine natürliche Einteilung des Kreises. Erlauben Sie mir, dass ich Sie an das Wesentlichste davon erinnere. Wir haben den Mittelpunkt, den Halbmesser, oder was auf das nämliche hinausläuft, den Durchmesser, und den Umkreis oder die Peripherie. Des Verhältnisses vom Durchmesser zur Peripherie will ich beiläufig deshalb gedenken, weil dasselbe ebenfalls in die Kategorie unveränderlicher Zahlengrössen gehört. Man nennt diese Zahl die Ludolfine und bezeichnet dieselbe mit dem kleinen griechischen Buchstaben π. Es ist $\pi = 3{,}14159265\ldots$ Es hat aber diese Zahl, welche man zur Quadrierung des Kreises bedarf und welche in der angewandten Mathematik so oft zur Verwendung kommt, mit der Einteilung des Kreises weiter nichts zu thun, denn diese letztere beruht wesentlich auf den allereinfachsten geometrischen Sätzen. Der Durchmesser teilt den Kreis an und für sich schon in zwei gleiche Teile. Errichtet man auf dem horizontalen Durchmesser einen

zweiten, vertikalen Durchmesser, so erhält man die Vierteilung, legt man aber den Halbmesser oder Radius innerhalb der Peripherie herum, so erhält man die Sechsteilung des Umkreises, indem dadurch ein regelmässiges Sechseck, ein Hexagon beschrieben wird. Diesen natürlichen geometrischen Verhältnissen ist es offenbar zuzuschreiben, dass man von jeher den Tag in 4mal 6 Teile, also in 24 Stunden, geteilt hat, und dass noch kein ernstlicher Versuch hat gemacht werden können, das dekadische System auch bei der Zeiteinteilung durchzuführen. Dass wir ein Decimalsystem, und nicht, wie viele Mathematiker gewünscht haben, ein Duodecimalsystem haben, rührt davon her, weil uns die Natur mit zehn Fingern (und mit zehn Zehen) versehen hat. Wenn wir aber dieses dekadische System überall und allüberall in starrer Konsequenz durchführen wollen, so verstossen wir mehr und mehr gegen natürliche Verhältnisse. Kehren wir noch einmal zum Kreise zurück. Die elementare, synthetische Geometrie des *Euklid* lehrt uns den Kreis in 2, 3 und 5 Teile einteilen, und demgemäss hat man auch die ganze Peripherie in 360 Grade eingeteilt, welche Zahl aus den Faktoren 2, 3 und 5 besteht. Die Franzosen haben aber, um ihrem metrisch-dekadischen Systeme getreu zu bleiben, dieses letztere auch auf die Kreiseinteilung ausdehnen wollen, und haben demgemäss den rechten Winkel, statt wie bisher in 90 Teile oder Grade, in 100 —, den ganzen Kreis also statt in 360^0 in 400^0 eingeteilt. Von der Macht natürlicher Verhältnisse gezwungen, haben aber die Franzosen diese Einteilung wieder verlassen müssen und sind wieder zu den alten 360 Graden zurückgekehrt. Wie viel Mühe und Zeit hat aber diese zweimalige Aenderung gekostet!

Die Anwendung auf das Münzsystem gibt sich von selbst. Es handelt sich eben um den Faktor 3, der seine natürliche Berechtigung hat und sich doch schliesslich immer wieder unentbehrlich zu machen weiss, der aber im metrisch-dekadischen Systeme nicht enthalten ist. Wenn nun eine Münzeinheit, von der wir ausgehen, nur nach 2 und 5 und nicht

auch nach 3 ohne Rest teilbar ist, so ist dies ein wesentlicher Mangel, und ich glaube auf diesen Umstand zu einer Zeit, wo es sich um eine radikale Umwandlung unsres rheinischen Münzfusses handelt, besonders aufmerksam machen zu dürfen.

Es hiesse die Geduld der verehrlichen Versammlung zu sehr in Anspruch nehmen, wenn ich das angeregte Thema heute noch auf weitere Gebiete, z. B. auf die Statistik, ausdehnen wollte, und so bleibt mir nur noch übrig, Ihnen zum Schlusse meinen Dank auszudrücken für die Ehre, die Sie mir durch die Einladung, in Ihrer Mitte einen Vortrag zu halten, erwiesen haben.

Anmerkungen des Herausgebers.

1. Vergl. oben S. 205 und 374.

2. Geschrieben 1870. Im Jahre 1877 wurden durch *Cailletet* in Paris und *Pictet* in Genf auch die letzten und schwerst kondensierbasen Gase in Flüssigkeiten übergeführt. Vergl. Comptes rendus, 1877 LXXXV, p. 1016, 1212, 1270, 1271, bezw. Comptes rendus, 1877 LXXXV, p. 1214, und 1878 LXXXVI, p. 106.

3. Siehe auch Anmerkung 15 zu Aufsatz III, S. 217.

4. Vergl. oben S. 157 und die zugewiesene Anmerkung 9, S. 217.

5. In dem Aufsatze von 1842, oben S. 11.

6. Vergl. oben S. 379.

7. Mémoire dans lequel on a pour objet de prouver, que l'eau n'est point une substance simple, un élément proprement dit, mais qu'elle est susceptible de décomposition et de récomposition, 1781. Oeuvres de *Lavoisier*, II Paris 1872, p. 334. Eine Ergänzung zu diesem Aufsatze ebendaselbst p. 360,

Robert Mayer.

48.

Als *Mayer* den obigen Vortrag hielt, erdröhnte der Boden Frankreichs vom Donner der Kanonen; Sedan war geschlagen, Strassburg und Metz gefallen. *Mayers* einziger Sohn *Paul* war als Arzt mit in den Krieg gezogen, seine Tochter *Emma* nahm im Heilbronner Sanitätsverein an der Pflege verwundeter und erkrankter Krieger teil, er selbst suchte zu helfen, wo er konnte. Und während jenem Vortrage zufolge „die gegenwärtigen Weltereignisse die Politik umgestalteten," trat auch eine Wandlung in *Mayers* politischen Empfindungen ein. *Rümelin* bemerkt über seine Anschauungen folgendes:

„In der Politik war er keiner bestimmten Partei zuzuteilen, hatte im einzelnen keine genau unter sich zusammenhängenden und abgeschlossenen Ansichten, war aber im allgemeinen konservativ und auch hier Anhänger des Autoritätsprinzips. Er war grossdeutsch und verurteilte den Krieg von 1866 mit allen seinen Folgen. Als aber der Krieg von 1870 ausgebrochen war, kam er nach der Schlacht von Wörth zu Freund *Lang* mit der Erklärung: er müsse mit *Hiob*, Kap. 42, 3, sagen: ‚Ich bekenne, dass ich habe unweislich geredt.' Er war von da an gut reichsfreundlich gesinnt, ohne sich jedoch mehr mit politischen Fragen zu beschäftigen."

Dass bei einem universellen Geiste wie *Mayer* keine chauvinistischen Wallungen aufkommen konnten, ist selbstverständlich. Hatte er doch die Hilfsmittel zu seiner Erkenntnis französischen wie deutschen Schriften entnommen, und bei französischen und englischen Forschern mehr Verständnis und Anerkennung als bei seinen deutschen Landsleuten gefunden. Aber ein guter Sohn

seiner Nation und seiner schwäbischen Heimat, ein verlässlicher Bürger seiner Vaterstadt ist er allezeit gewesen, auch wenn es für ihn galt gegen den Strom zu schwimmen, und wenn er in den Jahren 1869—1871 zum Mitglied der Wiener und Pariser Akademie ernannt wurde, wenn man ihm den französischen *Ponceletpreis* und die englische *Copley*medaille verlieh, so finden wir daneben auch die vaterländische Kriegsdenkmünze und urkundlichen Dank „für treue Leistungen im Dienste des Sanitätsvereins".

Auch nach dem Kriege gab es noch mancherlei zu thun. In Heilbronn fand 1871 ein Cyklus öffentlicher Vorträge zum Besten der Invalidenstiftung statt. *Robert Mayer* beteiligte sich mit dem folgenden Vortrage.

X.

Ueber die Ernährung.

(Vortrag, gehalten zum Besten der Invalidenstiftung, in Heilbronn, 13. April 1871.)

Indem ich es unternehme, über die Ernährung zu sprechen, wird mir die Aufgabe, Sie, verehrte Anwesende, in thunlicher Kürze, oder wie *Goethe* sagt, „mit bedächtiger Schnelle“, durch verschiedene Räume von Gottes weiter Schöpfung hindurch zu führen. Sie wissen alle, dass man die sinnlich wahrnehmbare Welt in drei Reiche einzuteilen pflegt: in das Mineralreich nämlich, das Pflanzenreich und das Tierreich. Der grosse Meister *Linné* sagt: *lapides crescunt,* Steine wachsen, *plantae crescunt et vivunt*, die Pflanzen wachsen und leben, *animalia crescunt, vivunt et sentiunt*, die Tiere wachsen, leben und empfinden. Schon hier werden wir veranlasst, uns mit dem Begriffe des Wachstums, also auch mit dem der Ernährung näher vertraut zu machen. Die Steine unterscheiden sich von den Pflanzen und Tieren durch den Mangel alles Lebens. Beim Leben findet eine fortwährende Veränderung, eine innere und äussere Bewegung statt, während die Steine, und alles was man auch im weiteren Sinne zu deren Reiche rechnen mag, ihren Bestand auf unbestimmte, ja wenn man will, auf ewige Zeiten unverändert erhalten können. Wenn *Linné* nichtsdestoweniger auch den Steinen ein Wachstum zuerkennt, so soll damit offenbar nur gesagt sein, dass auch die Steine wachsen

können, nicht aber, dass das Wachstum zu ihrem Wesen gehört. Wenn Steine wachsen, so geschieht dies bekanntlich nur dadurch, dass sich gleichartige Teile von aussen an dieselben ansetzen, durch das Wachstum durch Apposition, während das Wachsen der Pflanzen und der Tiere auf einer inneren Verarbeitung von aussen eingeführter Substanzen beruht, was man das Wachstum durch Intussusception nennt.

Unter Ernährung versteht man nun wesentlich einen Intussusceptionsprocess, die Aufnahme und innere Verarbeitung von aussen aufgenommener Substanzen, und es ist somit die Ernährung selbstverständlich nur eine Thätigkeit lebender Wesen, der Pflanzen und der Tiere. Es könnte demnach auch scheinen, als ob die Betrachtung des Mineralreiches, oder der nicht lebenden Welt, mit unserem heutigen Thema nichts zu thun hätte. Allein der schon genannte grosse schwedische Naturforscher *Linné* sagt an einer anderen Stelle: *natura non facit saltus*, die Natur macht keine Sprünge, mit anderen Worten: in der ganzen Welt ist überall Zusammenhang.

Ehe sich nun die Pforten zu den weiten Hallen der Pflanzen- und der Tierwelt vor unseren Blicken aufthun, muss ich Sie bitten, sich vorher in dem Mineralreiche, oder wie wir auch sagen können, in dem Reiche der Not- 1
wendigkeit, wie in einem Vorsaale, mit mir etwas umzusehen. Auf der Schwelle dieser Vorhalle fällt Ihnen die wenig erquickliche Inschrift in die Augen: Die Erde war wüst und leer, und unwillkürlich mögen Sie an die Worte Ihres Lieblingsdichters denken:

> Gleich dem toten Schlag der Pendeluhr
> Dient sie knechtisch dem Gesetz der Schwere —
> Die entgötterte Natur.

Nichts Lebendes regt sich hier und selbst der Zeiten ewiges Rad scheint stille zu stehen. „Aber," höre ich Sie ausrufen, „wozu verweilen in diesem finstern kalten Raume? Lasset uns weiter gehen und uns des Frühlings freuen; — lange genug hat der Winter angedauert!" Sie haben recht,

verehrte Anwesende, und ich bin gerade deswegen hier, um mich Ihnen als Führer anzubieten. Aber die Lebenserscheinungen, an welche wir bald kommen werden, lassen sich nicht verstehen, wenn man sich nicht vorher einigermassen mit den Naturgesetzen, sowie mit den Vorgängen der unbelebten Natur überhaupt etwas vertraut gemacht hat, und was insbesondere Licht und Wärme anbelangt, so werden Sie bald sehen, dsss sich diese Himmelsgaben auch schon in der Vorhalle des Lebens in reichem Masse finden.

Wenn, wie wir vorhin gehört haben, *Schiller* an der Natur tadeln will: sie diene knechtisch dem Gesetz der Schwere, so ist dieses insofern zuzugeben, als die Naturgesetze allerdings von dem Wechsel der Zeit unberührt in ewiger Notwendigkeit vor uns stehen. Diese Gesetze finden, wie ich mich an einem anderen Orte ausführlicher ausgesprochen habe (siehe die Abhandlung S. 381) in unveränderlichen Zahlen ihren Ausdruck, und deshalb habe ich auch das Gebiet der unbelebten Natur oder das Mineralreich, weil dieses vorzugsweise von solchen Gesetzen beherrscht wird, das Reich der Notwendigkeit geheissen. Diese göttliche Notwendigkeit kann aber nur solchen missfallen, die sie nicht recht verstehen. Freilich auch sind Poesie und Naturwissenschaften, etwa wie Frühling und Herbst, gar verschiedene Dinge! In der Physik ist es in dieser Hinsicht nicht anders als in der Politik. Ein Staat z. B., könnte denn ein solcher nur aus lauter Gesetzen bestehen? Wo blieben da Land und Leute? Und so haben wir auch schon in der unbelebten Natur nicht bloss Gesetze, wir haben vor allem Substanzen — wägbare und unwägbare — wir haben, wenn Sie wollen, Stoff und Kraft, und wir haben ferner Erscheinungen und Vorgänge, und wenn wir das Ganze ins Auge fassen, wenn wir besonders den makrokosmischen Kreislauf betrachten, so können wir, um mit *Plato* zu reden, nicht aufhören, schon in dem Gebiete der unbelebten Welt die Weisheit dessen zu bewundern, der die Himmel und unsere Erde geschaffen hat.

Beginnen wir mit den Naturgesetzen. Vor bald 2000 Jah-

ren schon sagt *Cicero* in seinem zweiten Buche über die Weissagung: „Hat je ein Physiker den Satz aufgestellt, dass etwas aus nichts entstehen, oder aus etwas nichts werden könne?“ *Cicero*, obgleich mehr Philosoph als Physiker, spricht hier das einfachste und wichtigste Naturgesetz mit kurzen, klaren Worten aus. In der unbelebten Natur wird, wenigstens soviel wir Menschen sehen können, nichts erzeugt, nichts vernichtet. Gott hat aber bekanntlich an der Menschheit einen langsamen Schüler, denn es hat von da an noch lange Jahrhunderte angestanden, bis der unsterbliche französische Chemiker *Lavoisier* vor nun hundert Jahren diesen einfachen Satz als ein für alle wägbare Substanzen oder Materien gültiges Gesetz erkannt und nachgewiesen hat, wodurch er, wie Sie wissen, der Begründer einer neuen Wissenschaft geworden ist. 2

Nun liegt die Frage ganz nahe, ob dieses Gesetz der Unzerstörbarkeit oder der Erhaltung, nicht auch für die unwägbaren Substanzen, die sogenannten Imponderabilien gilt? Die alten Griechen haben bekanntlich angenommen, 3 die ganze sichtbare Welt bestehe aus vier Elementen, der Erde, dem Wasser, der Luft und dem Feuer. Wenn man, dem heutigen wissenschaftlichen Sprachgebrauche gemäss, statt Feuer „Wärme“ sagt, und wenn man zugibt, dass der Ausdruck „Element“ wohl auch den Begriff der Unzerstörbarkeit einschliesst, so kann man kecklich sagen, dass die Wärme schon vor Jahrtausenden für eine unzerstörbare Kraft gegolten hat. Ausser der Wärme hat man namentlich das Licht und die Elektrizität zu den Imponderabilien gezählt, und es war diese Aufstellung seit *Lavoisiers* Entdeckungen bis in die Mitte unseres Jahrhunderts eine allgemein gebräuchliche. Das Licht ist, wie der elektrische Strom, eine Wellenbewegung, und zwar eine solche, die man ihrer ausser- 4 ordentlichen Geschwindigkeit wegen eine Vibration nennt. Mit gleichem Rechte ist aber auch die strahlende Wärme als unsichtbares Licht, und ebenso der Schall zu den vibratorischen Bewegungen zu zählen. Die Unzerstörbarkeit dieser Substanzen, Agentien oder Kräfte — wie man nun sagen

will — lässt sich aber erst dann klar erkennen, wenn man nicht nur die soeben genannten vibratorischen Bewegungen, sondern überhaupt jede Bewegung, also auch die einfach fortschreitende und die rotierende Bewegung, als mechanische Arbeit oder Kraft, in den Kreis der Betrachtung hereinzieht. Jede Bewegung ist nämlich eine unzerstörbare Kraft, die sich weder aus nichts erzeugen, noch auch sich vernichten lässt, die aber in den verschiedensten Formen auftreten und welche die verschiedensten Gestalten annehmen kann. Solche verschiedene Formen der Bewegung, beziehungsweise die Aequivalente derselben, sind nun unter anderen eben die früher sogenannten Imponderabilien, also namentlich die Wärme, das Licht und die Elektrizität. Diese Lehre nennt man jetzt, wie Ihnen bekannt sein wird, die mechanische Wärmetheorie, und es lässt sich leicht erachten, dass ohne Kenntnis dieses primitivsten Naturgesetzes der Aequivalenz der Kräfte keine einzige Erscheinung in ihrem Zusammenhange mit anderen dazu gehörigen Vorgängen richtig aufgefasst werden konnte, und dies ist auch der Grund, warum wir an der Hand dieser Theorie unsern Weg fortsetzen wollen.

In der Mosaischen Schöpfungsgeschichte heisst es: „Es war finster auf der Tiefe.“ Gleich darauf kommen aber die Worte: „Gott sprach, es werde Licht und es ward Licht!“ Und wieder heisst es dort: „Ein grosses Licht, das den Tag regiere.“ *Goethe*, im Eingange zum Faust, lässt den Erzengel Raphael sprechen:

Die Sonne tönt nach alter Weise
In Brudersphären Wettgesang, —

und Michael:

Und Stürme brausen um die Wette,
Vom Meer aufs Land, vom Land aufs Meer
Und bilden wütend eine Kette
Der tiefsten Wirkung rings umher.

Diese religiös-poetischen Worte von *Moses* und von *Goethe* stehen mit den Resultaten der Naturlehre in völligem Ein-

klange. Das Sonnenlicht ist das *primum movens*, das ursprünglich Bewegende, ohne welches unsre schöne Erde nur ein toter, starrer, farbloser Eisklumpen wäre; keine Bewegung würde auf derselben stattfinden und am allerwenigsten könnten lebende Wesen auf der Erdoberfläche gedacht werden. Der griechische Weltweise *Anaxagoras* hat schon als den letzten Grund aller Bewegungserscheinungen den νοῦς, ein allweises höchstes Wesen, was im Grunde mit dem Johanneischen λόγος identisch ist, angenommen, und von diesem λόγος, was *Luther* mit Wort übersetzt, lässt sich wieder das lateinische Wort für „Licht“, *lux*, ungezwungen herleiten. Das Licht aber, diese allbelebende Kraft, ist auch, wie wir bald sehen werden, die eigentliche Speise für die Pflanzen, die Tiere und den Menschen.

Das Sonnenlicht erhält die irdische Atmosphäre in beständiger Bewegung, „vom Meer aufs Land, vom Land aufs Meer“, und das Sonnenlicht ist es auch ferner, welches die fortwährende Ausdünstung des Seewassers bewirkt und so Tag für Tag eine ungeheure Wassermenge in die Höhe hebt. Alles Wasser, alle Feuchtigkeit des festen Landes ist vor gar nicht langer Zeit vom Meere abdestilliert worden. Viele Millionen Jahre lang hat diese Luft- und Wasserzirkulation auf der Erde schon ununterbrochen stattgehabt, ehe die ersten Menschen erschaffen wurden, und noch heute ist es das Sonnenlicht, das alles, auch die Räder unsrer Wasserwerke und die Flügel der Windmühlen in Gang setzt und im Gange erhält.

Es wurde oben gesagt, dass eine Ernährung eigentlich nur bei lebenden Wesen stattfindet; man wendet übrigens im weiteren Sinne diesen Ausdruck oft genug auch auf leblose Gegenstände an. Auch unsre liebe Sonne muss gespeist oder ernährt werden, indem sie sonst in kürzester Frist ihre Leuchtkraft verlieren würde. Die Ernährung der Sonne geht aber so zu: der Raum des Planetensystems ist mit einer unendlichen Menge ganz kleiner Massen, mit einer Art von Planetenstaube, wie man sich ausdrücken möchte, bevölkert. Diese kleinen Körperchen nun bewegen sich, wie

die viel grösseren Planeten auch, dem Gravitationsgesetze gemäss, um die Sonne. Solche Massen, wenn sie in die unmittelbare Nähe der Erde gelangen, und in die oberen Schichten unsrer Atmosphäre eintauchen, erscheinen uns als Sternschnuppen und Feuerkugeln und fallen sogar bisweilen als Meteorsteine auf den Erdboden herab. Diese Asteroiden, wie man sie nennt, sind aber auch, des Aetherwiderstandes wegen, in einer fortwährenden Annäherung zur Sonne begriffen und stürzen schliesslich mit derselben zusammen, und dadurch wird die Ausstrahlung der Sonne erhalten. Wie die Rechnung lehrt, so langen diese Körperchen mit der lobenswerten Geschwindigkeit von 60 bis 85 geographische Meilen in der Sekunde auf der Sonne an, und dieser ganz ungeheuren Geschwindigkeit entspricht denn auch ein verhältnismässig ebenso ungeheuer grosser thermischer Effekt. Ein auf die Sonne stürzendes Kilogramm Asteroidmasse nämlich gibt dort etwa soviel Wärme, als man bei der Verbrennung von 5000 Kilogramm Steinkohlen erhält! Es lassen sich demnach diese kleinen Bewohner des Sonnensystemes, diese Proletarier, den Blutkörperchen vergleichen, von welchen jeder Blutstropfen mehrere Millionen enthält. Die wichtige Bedeutung, welche diese letzteren für unser Leben haben, verdanken sie lediglich ihrer erstaunlich grossen Anzahl, und so macht gerade auch die ganze Summe der unermesslich vielen Asteroiden einen wichtigen, ja unentbehrlichen Faktor im Budget unsres Sonnensystemes aus.

Durch das Bisherige habe ich Sie, verehrte Anwesende, mit den Vorbedingungen bekannt machen wollen, welche zur Existenz lebender Wesen auf unsrer Erde erforderlich sind. Es bestehen diese Bedingungen, wie Sie gesehen haben, in dem Vorhandensein eines ewigen grossen Kreislaufes von Bewegungen in Luft und Wasser, welcher durch das Sonnenlicht hervorgerufen und unterhalten wird. Wenden wir uns nun zu den lebenden Wesen selbst, und zwar zuerst zu den Pflanzen. Die Pflanzen leben vom Sonnenlicht als ihrer Hauptnahrung. Sie absorbieren nämlich das auf sie fallende Licht und speichern daselbe in Form brennbarer

Materie in sich auf, und in dieser Thätigkeit besteht der Hauptsache nach ihre Ernährung. Die brennbaren Stoffe, aus denen sich die Pflanzen bilden, werden von denselben in verbrannter Form aus der Atmosphäre aufgenommen, welche ihnen auch, nebst dem Boden, in welchem sie wurzeln, das viele nötige Wasser durch die Blätter in Form von Regen und Tau zuführt. Es besteht nämlich die Atmosphäre ausser der Lebensluft, dem Stickstoffe und dem Wassergehalte auch aus einem kleinen Anteile von Kohlensäure, welche das Produkt verbrannter Kohle ist. Mit Hilfe des von den Pflanzen aufgenommenen Sonnenlichtes nun, welches die Fähigkeit besitzt, auch auf tote Substanzen desoxydierend zu wirken, und das bei dieser Arbeit verbraucht wird, werden die in der Luft befindlichen Verbrennungsprodukte von Kohle und Wasserstoff, nämlich die Kohlensäure und das Wasser durch die Pflanzen fortwährend reduziert und zu organischen Stoffen, den sogenannten Kohlenhydraten, vereinigt. Es sind die Blätter, welche dazu bestimmt sind, das Sonnenlicht in sich aufzunehmen und mit dessen Hilfe die genannten Stoffe zu verarbeiten. Die Blätter können daher füglich mit den Atmungswerkzeugen der Tiere, mit den Lungen verglichen werden. In der unendlichen Mannigfaltigkeit der Blattgestaltungen hat die Natur, wie es scheint, alle nur denkbaren Bildungsformen erschöpft und realisiert. Durch diese chemisch-physikalische Lebensthätigkeit, vermöge welcher die Pflanzen verbrannte Stoffe aufnehmen und dafür der Atmosphäre wieder freie Lebensluft zurückgeben, werden dieselben, wie Sie bald sehen werden, eine Vorbedingung für die Existenz andrer lebender Wesen, der Tiere nämlich und des Menschen, welche in entgegengesetzter Richtung arbeiten, indem sie den Sauerstoff der Luft verbrauchen und dafür verbrannte, dem Pflanzenreiche entstammende Stoffe ausatmen. Demgemäss lehrt auch schon die Mosaische Schöpfungsgeschichte sehr richtig und wahr, dass die Erde zuvor mit Pflanzen bedeckt gewesen, bevor die Tiere erschaffen wurden.

Bei Nacht arbeiten aber die Pflanzen wieder anders

als bei Tage. Statt Sauerstoff auszuhauchen, nehmen sie wieder etwas Sauerstoff, doch in wesentlich geringerer Menge, aus der Luft in sich auf, und geben dafür verbrannte Stoffe ab. Die Erfahrung lehrt, dass diese nächtliche Thätigkeit der Pflanzen auf die Gesundheit der in ihrer Nähe schlafenden Menschen nicht wohlthätig einwirkt; man pflegt deshalb auch mit Recht in den Schlafzimmern keine Pflanzen — am wenigsten aber duftende Blumen — aufzustellen, und man thut wohl, auch im Freien den nächtlichen Schlaf, so weit man kann, selbst unter lockenden Blütenhainen — man denke an den Mythus vom schlafenden Schäfer Endymion — zu vermeiden. Während des Wachsens entsteht nämlich im Organismus regelmässig ein Defizit an Lebensluft, das der Schlaf wieder zu decken hat, woraus sich schon ergibt, dass man schlafend für die Luftbeschaffenheit sensibler ist, als im Wachen. Zuträglich aber ist es für die Gesundheit, sich bei Tage unter einer reichen Vegetation zu ergehen, welche für die aufgenommene Kohlensäure dem Menschen frische Lebensluft zuhaucht.

Es ergibt sich aus dem Bisherigen, dass das Leben der Pflanzen ein fortwährendes Wachstum, eine fortwährende Massenbildung ist, wodurch sie sich wesentlich von den Tieren unterscheiden. Die Pflanzen sterben mit der Zeit wohl ab, sie hören aber eigentlich, so lange sie leben, nie auf zu wachsen; selbst die ältesten Bäume treiben, so lange sie auch leben, jedes Jahr wieder neue Geschosse und setzen jedes Jahr ihren Ring an.

Wenn wir oben das Mineralreich, oder das Gebiet der unbelebten Natur, das Reich der Notwendigkeit genannt haben, so können wir das Pflanzenreich das Reich der Zweckmässigkeit heissen. Es ist der Zweck der Pflanzen, das Sonnenlicht, welches sonst für unsre Erde schnell wieder verloren ginge, in fester Form niedergelegt, uns zu erhalten. Die Wärme, welche in dem Brennmaterial unsrer Wälder enthalten ist, diese Wärme ist unsrer Erde von der Sonne zugeflossen und wurde von den dunkeln Blättern und Nadeln der Bäume festgehalten, ebenso wie wir sagen

können, dass der Schnee unsrer Alpen und das Wasser unsrer Quellen und Seen nichts andres als abdestilliertes aufgespeichertes Meerwasser ist. So auch die ganze Wärmemenge, welche von den Steinkohlenlagern repräsentiert wird, ist aufgespeicherte Himmelskraft, ist Sonnenlicht, welches vor Hunderttausenden von Jahren auf die Erdoberfläche gefallen, nach und nach von einer überaus üppigen Vegetation festgehalten wurde und nun zu unsrer und unsrer Kinder Nutzniessung niedergelegt ist.

Die Pflanzen bestehen aber bekanntlich nicht bloss aus Brennstoffen, sondern sie besitzen auch, freilich in viel geringerer Quantität, unverbrennliche feuerfeste Bestandteile, welche bei der Verbrennung als Asche übrig bleiben. Diese fixen Bestandteile können aber die Pflanzen natürlich nicht wie die Kohlenhydrate durch die Blatternährung, wie wir solche eben betrachtet haben, aus der Luft sich verschaffen; sie haben dazu die Wurzelernährung nötig, um die erdigen Teile, nebst der nötigen Feuchtigkeit, aus dem Boden zu ziehen. Auf diesem Wege erhalten dann die Pflanzen hauptsächlich Kali, und statt dessen bisweilen auch Natron, ferner Kalkerde, Kieselsäure und Phosphorsäure, dazu auch manchmal etwas Schwefel. Nächst Licht und Luft hat also, wie bekannt, auch die Bodenbeschaffenheit auf die Ernährung und das Gedeihen der Pflanzen grossen Einfluss. — Es war unsrem grossen Landsmann *Liebig* vorbehalten, diese Verhältnisse mit Klarheit zu erörtern, und er hat sich schon hierdurch ein ewiges Verdienst um die Wissenschaft und die Menschheit erworben. *Liebig* ist als der eigentliche Begründer der Agrikulturchemie zu betrachten. 7
Doch dürfen wir in kurzer Abendstunde nicht länger bei diesem hochwichtigen Gegenstande verweilen.

Wir haben schon im toten Reiche der Notwendigkeit einen grossen Kreislauf von Kraft und Stoff kennen gelernt. Ein solcher Kreislauf wird aber auch in der lebenden Welt durch das Licht, die edle Himmelsgabe, wie *Schiller* dasselbe nennt, in Gang gesetzt und in Bewegung erhalten. Die Pflanzenwelt dient der Tierwelt zur Nahrung und liefert 8

derselben das Material zur Erzeugung von Bewegung und Wärme. Die Tiere konsumieren den elektronegativen Sauerstoff, die Lebensluft der Atmosphäre, das grosse *O* der Schöpfung, um die von den Pflanzen unmittelbar oder mittelbar herrührenden elektropositiven Brennstoffe zu oxydieren, wofür sie wieder verbrannte Stoffe, namentlich Kohlensäure ausatmen. Die Kohlensäure der Atmosphäre dient aber, wie wir gesehen haben, wieder zur Ernährung der Pflanzen, welche dieselbe mit Hilfe des Sonnenlichtes zerlegen, den Kohlenstoff in brennbarer Form in sich aufspeichern, den Sauerstoff aber an die Atmosphäre zurückgeben. Die flüssigen und festen Ausscheidungen der Tiere aber, Harn und Kot, dienen der Pflanzenwelt wieder als Dünger zur Wurzelernährung, indem diese Ausscheidungen gerade die fixen Bestandteile enthalten, welche die Pflanzen dem Boden entziehen und zu ihrem Wachstum ebenfalls bedürfen.

In der Tierwelt verläuft somit der Chemismus oder der Ernährungsprozess gerade in entgegengesetzter Richtung als in der Pflanzenwelt. Die Tiere unterscheiden sich ferner von den Pflanzen wesentlich durch ihre Fähigkeit zur Hervorbringung willkürlicher Bewegungen. Das zu dieser mechanischen Arbeit nötige Material entstammt aber dem Pflanzenreiche und ist diesem letzteren jedenfalls früher von der Sonne aus zugeflossen; es setzen also die Tiere ehemaliges Sonnenlicht in Bewegung und Wärme um. In d i e s e r Hinsicht, ich sage in d i e s e r Hinsicht ist der tierische Organismus bei aller unendlichen Mannigfaltigkeit seiner Zergliederung immerhin einer Dampfmaschine zu vergleichen. Auch die Dampfmaschine nämlich konsumiert zur Hervorbringung ihrer Leistung, zur Hervorbringung von Arbeit — und von Wärme — das von der Pflanzenwelt aufgespeicherte Sonnenlicht, und wir können nicht umhin, bei der Ernährung der Tiere und des Menschen, welch letzterer mit dem Tiere in leiblicher Hinsicht so vieles gemein hat, diese Vergleichung öfters zu gebrauchen. Von vornherein sei aber bemerkt, dass eine Vergleichung auf der Auffindung von Aehnlichkeiten beruht, dass aber Aehnlichkeiten noch lange

keine Identität geben. Das Tier ist keineswegs eine blosse Maschine, es steht hoch selbst über den Pflanzen, denn es hat einen Willen. Nachdem wir das Gebiet der Notwendigkeit und der Zweckmässigkeit durchschritten haben, so sind wir also jetzt bei der Betrachtung der animalischen Welt in das Reich des Willens, oder wie wir sagen wollen, in das Reich der Freiheit eingetreten. Doch ist es Sache der Philosophie und Theologie, dieses Thema in Beziehung auf den Menschen weiter zu erörtern; für heute haben wir uns auf den Akt der Ernährung, die vegetative Sphäre des animalischen Lebens zu beschränken.

Es ist vorzugsweise der Herr der Schöpfung, Gottes Ebenbild sowohl, wie das ewige Rätsel der Sphinx, der *homo sapiens* ist es, den wir in diesem dritten Gebiete, dem unendlichen Reiche der Freiheit, ins Auge fassen wollen. Man sagt im gemeinen Leben: Essen und Trinken hält Leib und Seele zusammen. Wozu dienen uns aber Speise und Trank? Wie geht die Ernährung vor sich und was ist der Zweck derselben? Diese Fragen sind es, die wir jetzt zu beantworten haben. Schon bei den Pflanzen haben wir zwei wesentlich verschiedene Arten der Ernährung kennen gelernt, nämlich die eine durch die Blätter, die andre durch die Wurzeln, und so dienen auch bei den Tieren und dem Menschen die Nahrungsmittel zu einem doppelten Zwecke. Betrachten wir zuerst die Speisung einer Dampfmaschine. Die unter dem Kessel angebrachte Feuerung hat, wie bekannt, den Zweck, die Maschine zu ihrer Leistung zu befähigen, d. h. die durch die Verbrennung gewonnene Wärme wird durch das Mittel der Dampfbildung, der Dampfspannung und Ausdehnung in Bewegung umgesetzt. Dabei entsteht aber als sehr unwillkommenes Nebenprodukt noch recht viel freie Wärme, die sich der Umgebung mitteilt und somit für die Maschinenleistung lediglich verloren geht. Nun wohl, die Nahrungsmittel haben auch in erster Linie den Zweck im Tierorganismus zu verbrennen und dadurch denselben zur Hervorbringung mechanischer Leistungen zu befähigen. Das Wort Verbrennung ist aber hier im weiteren Sinne zu

verstehen, wie es in der Chemie gebräuchlich ist, indem man darunter überhaupt den Verbindungsprozess andrer Substanzen mit Sauerstoff begreift, wenn auch dabei keine intensive, bis zur Lichtentwickelung gesteigerte Erhitzung stattfindet. Die Gärung des süssen Weinmostes z. B. betrachtet der Chemiker lediglich als einen Verbrennungsprozess, aber wie jedermann weiss, mit sehr gelinder Erwärmung. Die meisten Tierklassen und also weitaus die grösste Anzahl der Tiere überhaupt bringen keine merkliche Wärme hervor; die Temperatur ihres Körpers ist die des umgebenden Mediums, der Luft oder des Wassers, weshalb man sie auch, wenigstens die höheren derselben, welche rotes Blut und eine Wirbelsäule besitzen, die Reptilien also (Eidechsen, Frösche, Schildkröten und Schlangen) und die Fische, kaltblütige Tiere nennt. Vom rein mechanischen Standpunkte aus betrachtet, wären diese Geschöpfe die vollkommensten Bewegungsapparate, weil der Verbrennungseffekt ihrer Nahrung nahezu vollständig in Arbeit umgesetzt wird. Nichtsdestoweniger stehen aber diese Tiere auf einer wesentlich niedereren Stufe, als die warmblütigen Tiere, die Vierfüssler und die Vögel: denn unter Berücksichtigung ihrer Körpergrösse produzieren sie verhältnismässig viel weniger Arbeit als die Warmblüter, wenn sie auch einzelne Bewegungen mit furchtbarer Energie auszuführen vermögen.

Die Zeit mahnt mich zur Kürze und wir wollen deshalb, wie schon gesagt, unsre Betrachtung vorzugsweise auf den Menschen beschränken. Die Nahrungsmittel dienen demselben dazu, durch ihren Verbrennungseffekt seinen Organismus zur Hervorbringung der mechanischen Arbeit und der einem warmblütigen Geschöpfe nötigen Wärme zu befähigen. Die Speisen, nachdem sie gehörig vorbereitet in den Magen gelangt sind, werden je nach ihrer Beschaffenheit teils von dem haarfeinen Netze der Blutadern unmittelbar dort aufgesogen und so in kürzester Frist, in wenigen Minuten — am schnellsten das Trinkwasser — dem Blute beigemengt, teils werden sie aber erst durch den vorgängigen Akt förmlicher Verdauung zuvor in eine milchweisse Flüssig-

keit verwandelt, d. h. chylifiziert und so von den Lymphgefässen aufgenommen, um durch den Brustgang in die linke Schlüsselbeinvene geführt und auf diesem Umwege ebenfalls der Blutmasse einverleibt zu werden. Hierzu bedarf es jedenfalls mehrerer Stunden; es ist aber diese Zeit nach der Beschaffenheit der Speisen, ob nämlich dieselben leichter oder schwerer verdaulich sind, und besonders auch nach der Beschaffenheit der Verdauungswerkzeuge sehr verschieden. Auf diesem Ernährungsprozesse nun beruht die Erhaltung der zum Leben nötigen Blutmasse. Das Blut ist nämlich in einer beständigen langsamen Verbrennung begriffen und der damit verbundene unvermeidliche Verlust muss natürlich immer wieder durch neue Zufuhr gedeckt werden. Wie aber ferner das Blut durch das Herz in Zirkulation erhalten, im kleinen Kreislaufe die Lungen, im grossen Kreislaufe die übrigen Körperteile durchsetzt, wie die Muskeln durch das geatmete Blut zu ihrer Funktion, Arbeit zu liefern, befähigt werden, wie die unwillkürlichen Bewegungen des Herzens und des Darmkanales von dem weichen Ganglien-Nervensysteme, die willkürlichen Bewegungen aber von den harten, ganglienfreien Nervensträngen des Gehirns und Rückenmarks wie durch Telegraphendrähte beherrscht werden, wie also Ernährung, Atmen und Blutbewegung ineinander greifen, wie ferner die Lungen- und Magenthätigkeit von einem und demselben Gehirnnerven, dem Lungenmagen-Nerven, reguliert wird, dies alles in seinem natürlichen Zusammenhange darzustellen, ist Aufgabe der Physiologie, und kann hier nicht weiter eingehend erörtert werden.

Viele, die Ernährung betreffenden Gegenstände und Verhältnisse können wir uns nach dem Bisherigen jetzt einfach zurecht legen. Der Wert der Nahrungsmittel, vorausgesetzt natürlich, dass sie überhaupt verdaulich sind und verdaut werden, liegt in ihrer Brennbarkeit. Nehmen wir ein Pfund Brot und rechnen wir das Wasser hinweg, so ist die Verbrennungswärme des Restes der Massstab für den Nährwert des Brotes. Dieses gilt aber natürlich für die Lebensmittel überhaupt, mögen dieselben trocken oder flüssig,

mögen sie stickstoffhaltig oder stickstofffrei sein. Die Stärke, der Zucker und das Fett haben, obgleich stickstofffrei, einen bedeutenden Brennwert und sind in gleichem Verhältnisse auch nahrhaft. Das gleiche gilt insbesondere auch von den durch Gärung aus Zucker entstandenen Spirituosen. Diese haben aber neben dem, dass sie dem Organismus zur Nahrung dienen, indem sie demselben Material zur Arbeit und Wärme liefern, noch einen zauberhaften Einfluss auf das Nervensystem und den geistigen Menschen, eine Eigenschaft, deren nähere Erörterung übrigens nicht zu unsrem heutigen Thema gehört.

Das Bedürfnis nach Nahrung oder der materielle Verbrauch ist natürlich um so grösser, je mehr der Organismus Arbeit liefert und je mehr er Wärme an seine Umgebung verliert. Ein Malaie, wenn er dem süssen Nichtsthun obliegen kann, fristet sein Leben mit ein paar Hand voll Reis täglich, wogegen ein in kühler und bewegter Seeluft hart arbeitender Matrose zur Erhaltung seiner Kräfte ein bedeutendes Quantum Brennstoff einführen muss. Die gütige Natur, wenn ich nicht sagen soll, der gütige Schöpfer, hat den Bewohnern heisser Zonen kühlende Früchte geboten, während die Bewohner kalter Gegenden eine viel Wärme liefernde Fettkost nahegelegt finden. Dem Lappen schmeckt sein ranziger Thran wie dem Afrikaner die saftige Pumpelmuse. Aus gleichem Grunde ist im Winter das Nahrungs- (und Luft-)Bedürfnis viel grösser als in den wärmeren Jahreszeiten. In jedem Falle ist viel Bewegung in freier mässig kühler Luft bei kräftiger Nahrung der Gesundheit sehr zuträglich. — Aber auch Störungen kommen im Organismus vor, wo die Arbeitsproduktion darniederliegt, die Wärmeerzeugung hingegen krankhaft gesteigert ist; Zustände, die man im allgemeinen mit dem Namen Fieber bezeichnet. Auch Dampfmaschinen erhitzen sich bei gleichem Verbrauche stärker, wenn sie schlecht arbeiten, als wenn sie richtig gehen. — Sie werden sich nun noch viele Erscheinungen, die ich hier nicht eingehend besprechen kann, nach dem Bisherigen leicht selbst zurecht legen können. Der

Luftverbrauch z. B. geht notwendig, wie auch die Erfahrung allenthalben lehrt, mit dem Nahrungsbedürfnisse und der Produktion von Wärme und Arbeit Hand in Hand. In der Kälte, wo der Sauerstoffverbrauch gesteigert ist, ist aber auch ohnedies die Luft kondensierter, sättigender, als die durch Wärme ausgedehnte leichtere Luft, wo das Sauerstoffbedürfnis zugleich geringer ist.

Das durchschnittliche Einnahme- und Ausgabe-Budget des menschlichen Körpers ist durch sehr zahlreiche Versuche von den Physiologen, neuerdings insbesondere durch *Pettenkofer* und *Voit*, möglichst genau festgestellt worden, und 11
hieraus lässt sich auch, wie ich dieses schon vor 25 Jahren in einer diesem Gegenstande gewidmeten Schrift erstmals gethan habe, der mechanische Nutzeffekt des Menschen berechnen. Es ist derselbe, mit der Dampfmaschine verglichen, 12
ein bedeutender. —

Wir müssen nun noch von einer andren Art der Ernährung reden, welche mehr der Wurzelernährung der Pflanzen entspricht. Die Blätter der Pflanzen nämlich sind in mancher Hinsicht mehr den Lungen der Tiere, die Wurzeln aber dem Magen zu vergleichen. Die Nahrungsmittel dienen dem tierischen Organismus nicht nur als Brennstoffe oder als Respirationsmittel, zur Hervorbringung von Arbeit und Wärme, sie dienen demselben auch, bis er seine volle Grösse erreicht hat, zum Wachsen und ebenso auch ferner zum Wiederersatz abgenutzter Gewebsteile. Um aber diesen Zweck erfüllen zu können, müssen die Speisen in *succum et sanguinem* übergehen, sie müssen zu Blut und Fleisch werden, sie müssen plastisch assimiliert werden. Dazu aber müssen die betreffenden Speisen eine der chemischen Konstitution des Tierkörpers homogene Beschaffenheit haben, und darum können bei weitem nicht alle die Substanzen, die dem Körper als Respirationsmittel zur Kraft- und Wärmeproduktion dienen, zugleich auch den Assimilationszweck erfüllen. Diese nun zu betrachtende Art der Ernährung, die Assimilation nämlich, können wir aber um so kürzer abmachen, je ausführlicher und öfter dieser Gegenstand schon

von andren abgehandelt worden ist. Nur hat man, wie ich hier beiläufig bemerken will, über der Assimilation die erste und wichtigste Art der Ernährung, die Speisung des Organismus nämlich, behufs der Hervorbringung von Arbeit und Wärme in der Regel übersehen, was mich veranlasst hat, Ihre Aufmerksamkeit diesem Thema besonders zuzulenken.

Es sind vor allem die stickstoffreichen, quaternär zusammengesetzten Proteinstoffe, welche dem Körper zur Assimilierung dienlich und notwendig sind. Sie zerfallen in drei Hauptklassen, die aber alle in chemischer Hinsicht die gleiche Zusammensetzung haben. Diese Klassen sind 1. der Käse, 2. das Eiweiss und 3. die Faser. Letztere heisst Kleber, wenn sie aus dem Pflanzenreiche, Faserstoff aber in engerem Sinne, wenn sie aus dem Tierreiche kommt. Eiweiss und Faserstoff bilden den Hauptbestandteil unsres Körpers, es bedarf also der Mensch zu seinem Wachstume sowohl als zum Ersatz einer stets stattfindenden Abnutzung seiner Körperteile täglich einer gewissen Menge von Proteinsubstanz, die namentlich im Brot und Fleisch reichlich enthalten ist. Um die Natur beim Wachstume zu unterstützen, thut man, wie hier beiläufig bemerkt werden mag, wohl daran, den Kindern schon im ersten Lebensjahre täglich Fleisch, und, neben den plastischen Nahrungsmitteln, Milch u. dergl., auch etwas Wein als Respirationsmittel zu geben, damit die plastischen Nahrungsmittel um so vollständiger zur Bildung von Blut und Fleisch verwendet werden können. Umgekehrt wieder sagt ein richtiges Sprichwort: Der Wein ist die Milch der Greise. Das höhere Alter bedarf nicht mehr viel plastische Nahrung, zu welcher ihm ohnedies in der Regel die Zähne fehlen.

Ausser der Proteinstoffe (und dem Leim) bedarf der Körper zu seiner Erhaltung namentlich auch Kochsalz und Eisen, und zum Wachstum der Knochen bedarf er der Knochensalze. Da die Kalkerde die Basis dieser Salze bildet, so ist bei der körperlichen Entwickelung, wo es sich um Bildung von Knochensubstanz und Zähnen handelt, der Genuss von kohlensaurem Kalke in Form von Eierschalenpulver,

präparierter Austerschalen u. dergl. m. dem jungen Körper zuträglich, und ebenso ist es den Müttern anzuraten, woran sie ohnedies auch in der Regel durch Sodbrennen erinnert werden, zur Knochenbildung der Frucht sowohl als zur Milchernährung des Säuglings, sich dieser Mittel fleissig zu bedienen, wodurch zugleich ihre Zähne am besten vor Schaden bewahrt bleiben. —

Zum Schlusse gestatten Sie mir noch eine allgemeine Bemerkung. Man wollte das Nahrungsbedürfnis, wie Sie wissen werden, neuerdings unter der Benennung: „der Kampf um das Dasein“ zu einem Prinzipe erheben, und man ist dadurch offenbar zu ganz einseitigen Konsequenzen gelangt. Ein solcher „Kampf um das Dasein“ findet allerdings statt. Aber nicht der Hunger ist es, es ist nicht der Krieg, nicht der Hass ist es, was die Welt erhält, — es ist die Liebe. —

Anmerkungen des Herausgebers.

1. Vergl. oben S. 354.

2. Vergl. oben S. 389.

3. In dieser Beziehung sagt *Lucrez* im Anschlusse an die Lehren der griechischen Atomisten, insbesondere des *Epicur* (vergl. *T. Lucretius Carus*, De rerum natura, II, 297—299, 303—307):

„Drum auch ist die Bewegung, in welcher die Körper des Urstoffs
Jetzt sich befinden, darin schon längst vorhanden gewesen,
Und wird ferner noch statthaben auf ähnliche Weise. —
Keine Gewalt ist fähig, die Summe der Dinge zu ändern.
Wo wär etwas, wohin auch nur ein Teilchen des Urstoffs
Könnt aus dem All entfliehen? Wo könnten auch wieder die neuen
Kräfte sich bilden, zu dringen ins All und zu ändern der Dinge
Ganze Natur und deren Bewegung?“

Um solche allgemeine Sätze vom Standpunkte der Mechanik aus fassbar zu machen, musste erst das Mass der Bewegung gefunden sein. Nachdem dies im vorigen Jahrhundert erreicht war, sprach *Rumford* fast zweitausend Jahre nach *Lucrez* bedingungsweise die Konstanz der lebendigen Kräfte im Universum aus (einschliesslich derjenigen der Molekularbewegungen. Siehe u. a. *Berthold*, *Rumford* und die

mechanische Wärmetheorie, Heidelberg 1875, S. 83), welche *Mayer* unter Erkenntnis und hypothesenloser Berücksichtigung der übrigen Energieformen (so auch der potentiellen Energie) durch die Konstanz der Energie ersetzte.

4. Diese bestimmte Ansicht *Mayers* bezüglich des Wesens des elektrischen Stromes tritt hier zum erstenmal auf.

5. Vergl. oben S. 167, 168 und über die Meteoritentheorie überhaupt von S. 160 an.

6. Vergl. oben S. 74—78.

7. *Liebig*, Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie, Braunschweig 1840 (I. Der chemische Prozess der Ernährung der Vegetabilien, II. Die Naturgesetze des Feldbaues), 9. Auflage 1875, und weitere Schriften in den vierziger und fünfziger Jahren.

8. Vergl. oben von S. 78 an.

9. Am 24. August 1870 schrieb *Mayer* an seine Tochter *Elise:* „Was die Nährkraft des Fleischextrakts betrifft, so gilt hier das allgemeine Gesetz, dass bei allen Nahrungsmitteln der Ernährungswert dem Verbrennungswerte entspricht; es ist also die Wärmemenge, die ein gegebenes Quantum von Speise und Trank durch Oxydation gibt, der Massstab auch für die Nährkraft. Einige Löffel voll des kräftigsten Fleischextrakts müssen aber in ihrem Wärmeeffekt einem Pfund Fleisch gegenüber offenbar sehr zurückstehen."

10. Näheres in Aufsatz VI, S. 324.

11. *Pettenkofer* und *Voit*, Untersuchungen über den Stoffvorbrauch des normalen Menschen. Zeitschrift für Biologie, 1866 II.

12. Siehe oben S. 80, 86 und „Kleinere Schriften und Briefe", XIV 1.

Robert Mayer.

49.

Die entschiedene Stellung, welche *Mayer* am Schlusse des letzten Aufsatzes gegen die *Darwin*sche Selektionstheorie einnahm, beruhte in erster Linie auf dem Hypothetischen ihrer weitgehenden Schlüsse und auf seinen Ansichten über die Grenzen des Naturerkennens; sie hing aber auch mit seinen religiösen Empfindungen zusammen. Im Dezember 1874 schrieb er an Stadtpfarrer *Schmid* in Friedrichshafen[1]) über „die moderne Irrlehre“:

„Was ich von meinem Standpunkte aus gegen *Darwins* System vor allem einzuwenden habe, ist das: vor unsern Augen entstehen fortwährend unzählig viele pflanzliche und tierische Individuen durch Zeugung und Befruchtung. Wie dieses aber zugeht, dieses ist dem Physiologen ein völlig unbegreifliches Rätsel und unergründliches Geheimnis, wo so recht der berühmte Spruch *Haller*s seine Anwendung findet: „Ins Innere der Natur u. s. w.“ So wir nun genötigt sind, in diesen so ganz nahe liegenden und gegenwärtigen Dingen unsre völlige Unwissenheit einzugestehen, will uns auf einmal der gute *Darwin*, wie ein zweiter Herrgott, ganz gründliche Auskunft darüber erteilen, wie die Organismen überhaupt auf unsren Planeten entstanden sind! Dies geht aber nach meiner Ansicht so lächerlich weit über das Menschenmögliche hinaus, dass ich hier den Paulinischen Spruch anwenden möchte: „Da sie sich für weise hielten u. s. w.“ Gewiss sind aber die Darwinianer eifrige Kämpen und die Sache hat ohne Zweifel nur deshalb so viele Anhänger in Deutschland, weil sich daraus Kapital für den Atheismus machen lässt.“

---

[1]) „Kleinere Schriften und Briefe“, XXIV 5.

Ueber einen Besuch, welchen Professor *Hüfner* in Tübingen im Sommer 1873 *Mayer* abstattete, berichtet derselbe u. a. folgendes: „Er empfing uns recht freundlich und war selber heiter. Ich unterhielt mich mit ihm über tierische Wärme und über die Aufgaben der physiologischen Chemie. Als Muster von Klarheit über diese Fragen rühmte er mir die Franzosen. Unter den deutschen organischen Chemikern hält er *Kolbe* für den bedeutendsten. — Ueber allgemeinere, philosophische Gegenstände durfte ich leider nicht mit ihm sprechen. Sein Neffe hatte mich vorher gebeten, nicht über *Darwin* und was mit dessen Lehre zusammenhängt, auch nicht über Politik mit ihm zu reden. *Darwins* Lehre könne er nicht vertragen, und was Politik anlange, so sei er ein entschiedener Ultramontaner.“

Letzteres ist so zu verstehen, dass *Mayer*, obwohl Protestant, in dem damals alle Gemüter bewegenden Kampfe Preussens gegen die Macht der katholischen Kirche (dem „Kulturkampfe,“ nach der 1873 von *Virchow* eingeführten Bezeichnung) nicht auf seiten des Staates stand. Dies entsprach seiner Ansicht über die Bedeutung einer starken kirchlichen Autorität, wie er sie in der katholischen Kirche verwirklicht sah. Bekanntlich ist jener Kampf seither infolge Nachgebens des Staates der Hauptsache nach beendigt worden. *Mayer* verkehrte zeitweise mit katholischen und protestantischen Geistlichen und hatte eine besondere Verehrung für Papst *Pius IX.*

Seine Toleranz zeigte sich trotz aller Abneigung auch dem Darwinismus gegenüber. Als er 1877 eine Rezension der neugegründeten Zeitschrift für einheitliche Weltanschauung auf Grund der Entwickelungslehre, „*Kosmos*“, zu liefern hatte, fügte er der objektiven Inhaltsangabe folgendes bei: „Die Namen der Herausgeber [1]) dieser Zeitschrift sowohl, wie diejenigen der darin aufgezählten Mitarbeiter bürgen uns für höchst gediegene Leistungen, und in der That enthält gleich das vorliegende erste Heft eine Reihe sehr geistvoll und kenntnisreich geschriebener Artikel. — Referent, welcher kein Anhänger *Darwins* ist, kann auch seinen Gegnern das Lob grosser Rührigkeit nicht versagen, und steht nicht an, vorstehende neue Zeitschrift zur Lektüre bestens zu empfehlen.“

Im Jahre 1871 erschienen die vier letzten Aufsätze *Mayers*

[1]) In Verbindung mit *Darwin* und *Haekel: Caspari, Jäger, Krause.*

vereinigt unter dem Titel „Naturwissenschaftliche Vorträge“ bei *Cotta* in Stuttgart, sie enthalten, wie er selbst sagt, in gemeinverständlicher gedrängter Darstellung seine Natur- und Weltanschauung. 1873 hielt *Mayer* im Kaufmännischen Vereine zu Heilbronn, wo er drei Jahre zuvor „Ueber die Bedeutung unveränderlicher Grössen“ gesprochen hatte, den folgenden Vortrag „Ueber veränderliche Grössen“, welcher, wie die vorausgegangenen, 1874 in die zweite Auflage der „Mechanik der Wärme“ überging.

---

[1]) „Kleinere Schriften und Briefe“, XIX 2 C, sowie Vorwort zur 2. Auflage dieses Werkes.

XI.

Ueber veränderliche Grössen.

(Vortrag, gehalten im Kaufmännischen Vereine in Heilbronn, am 10. November 1873.)

Die neuere Wissenschaft beschäftigt sich, wie ich schon in einem früheren Vortrage „über die Bedeutung unveränderlicher Grössen“ angedeutet habe, so wenig wie möglich mit Definitionen. Statt dessen ist dieselbe bemüht, ihre Untersuchungsobjekte prinzipiell, oder von vornherein nach unveränderlichen Masseinheiten zu zählen, um dann auf solidem Grunde, mit allen Hilfsmitteln der Mathematik, unter steter Kontrolle genauer Beobachtungen und Experimente weiter zu gehen. Die Sucht, alles definieren zu wollen, ist meines Wissens insbesondere von unsrem deutschen Landsmanne und Naturphilosophen *Hegel* auf die Spitze getrieben worden; was aber wurde durch solche linguistische Turnübungen für die ernste Wissenschaft gewonnen? Die Wahrheit ist ja an und für sich ewig, und das Ewige lässt sich nicht definieren und auch nicht beweisen. Es ist, wie Sie überall sehen können, eine praktische Richtung, welche unsre Zeit auszeichnet, und dem entsprechend sucht man auch die Probleme, welche man erörtern will, viel besser durch Beispiele, als durch Definitionen klar und begreiflich zu machen. Indem ich mir die Aufgabe gestellt habe, heute in kurzem Vortrage über den wissenschaftlichen Begriff „veränderlicher Grössen“ mit Ihnen zu sprechen, werde ich das, was ich

vor drei Jahren über „die Bedeutung unveränderlicher Grössen“ gesagt habe, wohl im allgemeinen als bekannt voraussetzen dürfen. Damals habe ich Ihnen im Eingange beispielsweise auseinandergesetzt, wie man die Zeit und den Raum nach unveränderlichen Einheiten, die erste z. B. nach der Sekunde, den letzteren nach dem Meter misst oder zählt.

In meinem letzten Vortrage habe ich auch darauf hingewiesen, dass man im Handel und Wandel, um das Geld zählen zu können, einer unveränderlichen Grösse, einer Münzeinheit bedarf, welche durch Konvention nach Utilitätsrücksichten festgestellt wird. Wie Sie wissen, so wurde in der Zwischenzeit die Mark als solche für das neue Deutsche Reich bestimmt. Nun ist aber bekanntlich der Wert aller durch Geld kaufbaren Gegenstände einem beständigen Wechsel unterworfen, und hier haben wir somit ein naheliegendes Beispiel von „veränderlichen Grössen“. Mit diesen letzteren beschäftigt sich die Spekulation. Wenn das Geld, als unveränderlich angenommener Massstab der verschiedensten Wertobjekte, der Nerv, der Kredit die Seele, so ist die Spekulation das Leben des Handels. Die richtige Spekulation ist Gesundheit, die falsche ist Krankheit und führt schliesslich zum Tode, d. h. zur Insolvenz. Hieran knüpft sich von selbst die Warnung an, sich mit den heiklen veränderlichen Grössen nicht zu sehr einzulassen. *In certis fortiter, in dubiis prudenter!*

Gehen wir nun aber auf das naturwissenschaftliche Gebiet über, in welchem uns das eben Gesagte wieder, nur in etwas andrer Gestaltung, entgegentritt. An die Aufstellung einer Zeit- und einer Raumeinheit knüpfen sich ganz einfach die Beziehungen an, welche bei dem freien Falle der Körper zwischen der ersten Sekunde der Fallzeit, dem Fallraume und der erlangten Endgeschwindigkeit stattfinden. Es ist, wie ich Sie schon früher darauf aufmerksam machte, ein in der Geschichte der Wissenschaften und der Entwickelung des menschlichen Geistes merkwürdiges Faktum, dass in einem Zeitraume von beiläufig 18 Jahrhunderten, von *Archimedes* bis auf *Galilei* (1564 zu Pisa geboren) die

mechanische Physik keinen erheblichen Fortschritt gemacht hat. Erst von *Galileo Galilei* wurde durch die Entdeckung der eben erwähnten Fallgesetze die Grundlage einer wissen-
1 schaftlichen mechanischen Physik gelegt. Dieser Entdeckung und diesem grossen Manne verdanken wir unter andrem auch die Pendeluhren, welche den grossen holländischen Mechaniker *Huyghens* (1629 im Haag geboren) ein halbes Jahrhundert später darauf führten, Spiraluhren zu konstruieren.

Wenn wir einmal wissen, dass ein frei fallender Körper in der ersten Sekunde einen Raum von 15 Fuss zurücklegt, so knüpft sich hieran die weitere Frage, welche Fallräume beliebig angenommenen andern Zeiten entsprechen u. s. w. Hier haben wir auf naturwissenschaftlichem Gebiete gleich wieder Beispiele von veränderlichen Grössen, nämlich den Fallzeiten, den Fallräumen und den Endgeschwindigkeiten. Eine veränderliche Grösse, in ihrer Abhängigkeit von einer oder von mehreren andern Grössen, nennt man eine Funktion und sagt z. B.: die Endgeschwindigkeit ist eine Funktion des Fallraumes oder auch eine Funktion der Fallzeit. Die Einheiten sind die Konstanten, die Funktionen dagegen schwanken zwischen Null und Unendlich. Der Begriff veränderlicher Grössen setzt, wie man leicht sieht, den der unveränderlichen voraus.

Die Formeln zur Berechnung der Fallzeiten, der Fallräume und der Endgeschwindigkeiten, wie sie sich in jedem Lehrbuche der Physik finden, gründen sich aber auf die Annahme einer relativ unendlichen Grösse und einer unveränderlichen Anziehung des Erdkörpers, und sind dieselben also nur so weit brauchbar, als eine solche Annahme ohne merklichen Fehler gemacht werden kann. Es können mithin diese Formeln auch nur innerhalb ziemlich enger Grenzen angewendet werden. Wenn z. B. die Fallzeit nur eine kleine Anzahl von Minuten übersteigt, so gibt die bekannte Formel $c = g\,t$ kein richtiges Facit mehr. Es führt uns dies auf den Begriff der allgemeinen Gravitation, oder auf das von *Isaak Newton* (geb. 1642 zu Woolsthorpe, einem kleinen

Dorfe in Lincolnshire) aufgestellte Gesetz der Schwere. 2
Kleine Fallzeiten und Fallhöhen, für welche die Anziehung der Erde als eine unveränderliche Grösse funktioniert, nennt man terrestrische Fallzeiten und Höhen, grössere Zeiten und Räume dagegen, bei welchen die dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportionale Gravitation in Rechnung kommt, heissen kosmische Fallzeiten und Fallräume. Um solche zu bestimmen, dazu bedarf man schon der Hilfsmittel der höheren Mathematik, oder der von *Newton* ebenfalls entdeckten Infinitesimalrechnung. Bemerkenswert ist übrigens, wie sich die Beziehung zwischen dem kosmischen Fallraume und der erlangten Bewegungsgrösse in einer überraschend einfachen Gleichung zweiten Grades ausdrücken lässt. Be- 3
trachtet man dagegen die von einem fallenden Körper erlangte Geschwindigkeit x als Funktion der dazu gehörigen Fallzeit y, $f\,x = y$, so erhält man schon eine äusserst verwickelte Formel, und es ist nach mathematischer Ausdrucksweise die Geschwindigkeit x eine transscendentale 4
Funktion von der Zeit y. Doch ist diese Aufgabe noch lösbar und gelöst; will man aber vollends aus einer beliebig angenommenen Fallzeit x die dazu gehörige Geschwindigkeit y finden, so steht man vor einer unauflöslichen Aufgabe, deren es eben nur gar zu viele gibt. Vor der Natur freilich sind, wie sich der grosse Berliner Physiologe *Johannes Müller* ausgedrückt hat, alle Aufgaben der Mathematik gelöst, das Wissen und Können der Menschen aber ist Stückwerk. Hüte man sich, dass man über dem Streben nach Unerreichbarem nicht Erreichbares verliert! Das Streben nach dem Unmöglichen und Wunderbaren ist der fruchtbare Boden für den Mysticismus, Aberglauben und Betrug jeder Art. Zu allen Zeiten hat es eben Betrüger und Leichtgläubige gegeben. Hat ja auch, wie uns die Zeitungen wenigstens berichteten, der letztverstorbene Exkaiser von Frankreich einen englischen Spiritisten und Geisterbeschwörer, Namens *Home,* zu seinem vertrauten Ratgeber gehabt!

Erfreulicher ist es zu sehen, wo unter Anwendung vernünftiger Mittel wichtige und nützliche Zwecke wirklich

und dauernd erreicht werden. Stellen wir uns jetzt die Aufgabe, beliebige Punkte auf der Erdoberfläche nach ihrer geographischen Lage, also nach Länge und Breite, genau und sicher zu bestimmen, — eine Arbeit, welche namentlich für die Nautik eine Lebensfrage ist. Natürlich müssen nämlich die Seeschiffe, welche ihre geographische Lage stets verändern, den Ort jeder Zeit genau wissen, wo sie sich befinden. Das nächstliegende Mittel hierzu ist das Loggen. Das Schiff wirft, wenn es das Land verlässt, eine Leine aus, an welcher sich ein dreieckiges Holz befindet, das an einer Seite mit Blei beschwert ist, wodurch dasselbe im Wasser eine vertikale Richtung bekommt. Von dieser Leine, welche über einen Haspel abläuft und mit Knöpfen markiert ist, lässt sich nun die Geschwindigkeit ablesen, die das Schiff hat. Während man jetzt weiss, wie viel Knoten das Schiff läuft, oder wie viele Meilen dasselbe in einer Wacht, = 4 Stunden, zurücklegt, und die Richtung, welche der Kompass angibt, kennt, so weiss man auch den Ort, wo sich das Schiff befindet, auf der Seekarte leicht zu finden. Dies Mittel reicht aber für sich allein nur für kurze Zeit hin; bei längerer Fahrt dagegen und auf offener See wird es durch die vielen im Schiffslaufe stets vorkommenden Unregelmässigkeiten ganz unsicher, denn schon die eigenen Strömungen des Meeres, wie Ebbe und Flut u. a. m., welche auf den Lauf des Schiffes wirken, ohne vom Log angezeigt zu werden, wirken wesentlich störend auf diese Art der Berechnung ein. Damit aber dennoch das Schiff den Ort weiss, wo es sich befindet, dazu dient nun die Beobachtung der Gestirne.

Mit jeder Ortsveränderung auf der Erde ändert sich jedesmal auch der Prospekt des Himmelsgewölbes. Unter dem Nordpole z. B. steht der Polarstern im Zenith, unter der Linie steht derselbe Stern am Horizont. Nun müssen wir uns die Gradeinteilung der Erdoberfläche vergegenwärtigen. Ein durch beide Pole gezogener grösster Kreis der Erde heisst ein Meridian. Da jeder Kreis in 360 ^{0} geteilt wird, so teilt man den vom Aequator bis zum Pol ge-

zogenen Erdquadranten in 90 °. Die Entfernung eines Punktes vom Aequator nennt man seine geographische Breite, der Aequator selbst hat 0 ° Breite. Um nun für irgend einen beliebigen Punkt die Breite zu bestimmen, denke man sich durch diesen Punkt einen Meridian gelegt, und der Abstand vom Aequator nach Graden, Minuten und, wenn man will, nach Sekunden gemessen, gibt auf der nördlichen Halbkugel die nördliche, auf der südlichen Halbkugel die südliche Breite. Diese Messung vorzunehmen, hat keine praktische Schwierigkeit. Man bedient sich hierzu allgemein der Beobachtung der Sonne, deren Lauf für alle Jahreszeiten bekannt ist. Zur Zeit der Tag- und Nachtgleichen z. B. steht die Sonne unter der Linie mittags im Zenith, an den Polen am Horizont; es gibt also der Abstand der Sonne vom Horizont die geographische Breite eines Ortes an. Um diesen Abstand zu messen, dazu bedient man sich des *Newton*schen Spiegelsextanten, eines für alle Seeschiffe unentbehrlichen Instrumentes.

Nun aber die Länge! Diese zu bestimmen war früher eine recht schwierige Aufgabe, die übrigens längst glücklich gelöst ist. Wie der Meridian, so wird auch der Aequator (und seine Parallelkreise) in Grade geteilt. Nun muss man aber einen festen Punkt bestimmen, von dem aus die Abstände nach Ost und nach West, nämlich die Längengrade, gemessen und gezählt werden. Hierzu wurde Ferro gewählt, als die westlichste von den kanarischen Inseln und als die äusserste Grenze der östlichen Halbkugel. Man rechnete also vom Meridiane von Ferro aus die geographische Länge bis zu 180 ° östlich und westlich. Da sich aber in Ferro keine Sternwarte befindet, so pflegen unsre Landkarten vom Pariser Meridian aus zu zählen, indem man Paris als unter dem 20.° östlicher Länge gelegen annimmt. Hiernach befindet sich z. B. unser Heilbronn im 27.° östlicher Länge. Die Seefahrer rechnen dagegen durchgängig nach Greenwich bei London, welches die grösste Sternwarte der Erde besitzt. Punkt 12 Uhr mittags fällt dort täglich eine schwere Kugel in einen metallenen Kessel hoch

herab, dass der Schall meilenweit gehört wird. Der Längenunterschied zwischen Ferro und Greenwich beträgt 17° 41'. Nun reduziert sich die Aufgabe der Längenbestimmung darauf, den Zeitunterschied zu wissen, welcher zwischen dem fraglichen Orte und dem Meridiane von Greenwich stattfindet. Ein Längengrad gibt, da der Tag aus 1440 Minuten und der Kreis aus 360° besteht, $\frac{1440}{360}$, d. h. 4 Minuten Zeitunterschied. Hat ein Ort z. B. vormittags 11 Uhr, während in Greenwich Mittag ist, so liegt dieser Ort unter dem 15.° westlicher Länge, hat ein andrer Ort zu dieser Zeit 1 Uhr nachmittags, so liegt er 15° östlich von Greenwich. Dieser durch die verschiedene Länge bedingte Zeitunterschied wird auch auf den Eisenbahnen in kurzem sehr bemerklich. Die Seeschiffe nehmen nun genaue Uhren, Chronometer, mit, von denen keine um mehr als eine Sekunde täglich fallieren soll und deren durch Beobachtung eruierte Fehler noch überdies in Rechnung gebracht werden. Diese Chronometer befinden sich in besonders dazu konstruierten Gehäusen, um das zarte Werk vor dem störenden Einflusse der Schiffsschwankungen zu schützen, und werden überhaupt sorgfältig bewahrt und vor zufälligen Stössen gehütet. Auf solche Weise wissen nun die Schiffe die Zeit, welche Greenwich hat. Die Zeit aber, welche der Ort hat, wo ein Schiff segelt, findet sich leicht durch Messung der Sonnenhöhe, welches wieder durch den Spiegelsextanten geschieht. Aus dem so gefundenen Unterschiede beider Zeiten ergibt sich unmittelbar, wie wir eben gesehen haben, die gesuchte Länge.

Es gibt aber glücklicherweise noch eine andre Methode, als das Chronometer, welche neben der soeben erwähnten auf allen Schiffen gleichfalls beständig zu Längenbestimmungen gebraucht wird. Denn da sich beide Methoden kontrollieren, so wird dadurch eine um so grössere Sicherheit erreicht. Diese andre Art der Längenbestimmung, allerdings schwieriger, aber noch genauer und sicherer, als die erstgenannte, besteht in der Beobachtung des Abstandes von

Sonne und Mond, den man auch wieder mit dem nämlichen Spiegelsextanten misst. Hierzu ist aber nötig, dass man den Lauf des Mondes ganz genau kennt, — eine Aufgabe, welche die Astronomie zuvor lösen musste. Die Berechnung des Mondlaufes ist aber viel schwieriger, als die der Planetenbahnen. Bei diesen letzteren reichen die *Kepler*schen Gesetze hin, indem hier uur zwei Körper in Betracht kommen, einerseits nämlich die Sonne, welche den relativ unendlich grossen feststehenden Schwerpunkt bildet, und dann der planetarische Körper, welcher um diesen Brennpunkt seine elliptische Bahn beschreibt. Dagegen wird aber der Mond nicht nur von der ebenfalls bewegten Erde, sondern zugleich auch wesentlich von der Sonne angezogen und beschreibt deshalb in seinem Laufe um die Erde entfernt keine einfache Ellipse, sondern eine äusserst verwickelte Kurve, zu deren Bestimmung man der sogenannten Störungsrechnung bedarf. Da nun hier nicht wie bei den Planetenbahnen nur zwei, sondern drei Himmelskörper in ihrer gegenseitigen Beziehung in Rechnung gebracht werden müssen, so nennt man eine solche astronomische Aufgabe auch das Problem der drei Körper, ein Problem, welches durch die grossen Schwierigkeiten, die es für die Berechnung darbietet, bei den Astronomen sprichwörtlich geworden ist. Ein Landsmann von uns, *Tobias Mayer,* 1723 zu Marbach geboren, welcher in seinem 27. Jahre als Professor der Mathematik nach Göttingen berufen wurde, und daselbst 39 Jahre alt starb, hat sich durch die Lösung dieses Problems um die Längenbestimmung ein unvergängliches Verdienst erworben, und seine Mondtafeln werden noch heute von allen Seefahrern und auf allen Meeren benutzt. Diese Tafeln sind so abgefasst, dass sich von ihnen einfach durch Messung des Abstandes von Sonne und Mond mittelst des Spiegelsextanten die Zeit ablesen lässt, welche Greenwich hat, wodurch eben, wie wir schon gesehen haben, die geographische Länge eines Ortes, und zwar auf diese Weise ohne Anwendung des Chronometers, bestimmt ist. Solche Beobachtungen lassen sich am besten kurz vor und kurz

nach dem Neulichte vornehmen, wo die zarte Mondsichel, eben sichtbar, recht nahe bei der Sonne steht. Auch durch Beobachtung der Verfinsterung der Jupitertrabanten lässt sich die Länge finden; es wird diese Methode aber selten in Gebrauch gezogen. Auf die Entdeckung einer sicheren Methode der Längenbestimmungen wurde im Jahre 1714 vom englischen Parlament ein Preis von 20000 Pfund Sterling und zwei Jahre später von dem Herzog von Orleans, Regent von Frankreich, 100000 Franken ausgesetzt. Acht Jahre nach dem Tode *Tobias Mayers*, im Jahre 1770, fand man seine Tafeln berechtigt, einen Teil jenes von dem Parlamente ausgesetzten Preises anzusprechen. Sie wurden ge-
6 druckt, und seine Witwe erhielt 3000 Pfund der zugesagten Nationalbelohnung. Zu derselben Zeit erhielt auch *Euler*, dessen Tafeln den *Mayer*schen zu Grunde lagen und sie eigentlich veranlasst hatten, denselben Betrag als Würdigung seiner Verdienste.

Wir wollen nun, meine Herren, noch auf ein andres Gebiet übergehen, auf welchem unser unerschöpfliches Thema veränderlicher Grössen ebenfalls eine wichtige Rolle spielt, auf dem aber, ich sage es zum voraus, Theorie und Praxis nach meinem Dafürhalten nie ganz in Einklang gebracht werden können. Es ist dies das Gebiet des Zufälligen. *Lagrange,* seiner Zeit der grösste Mathematiker Frankreichs, geboren 1736 zu Turin, hat sich insbesondere auch mit dem Zufall, **avec le hasard,** beschäftigt, und ist durch seine hierher einschlagenden Arbeiten eigentlich der Gründer
7 unsrer Statistik geworden. Als ein durchaus wesentliches Merkmal für den Zufall erklärt *Lagrange* das, dass alle vorhergegangenen Fälle, alle Präcedenzfälle, ohne jeglichen Einfluss auf das zu Erwartende und Kommende sind. Wenn also z. B. bei einem Kartenspiel zehnmal nacheinander Rot abgehoben worden ist, so ist für das elfte Mal die Chance für Rot oder Schwarz wieder ganz die gleiche, keineswegs aber, wie man wohl auch meinen könnte, für Schwarz etwa grösser als für Rot. Beispiele dieser Art lassen sich unzählig viele und aus den verschiedensten Gebieten anführen,

es mag aber an dem einen genügen, um die Sache deutlich zu machen. Dieses Prinzip von *Lagrange* empfiehlt sich durch seine klare Fassung und durch seine von vornherein einleuchtende notwendige Richtigkeit. Es umfasst aber nicht das ganze System des Zufälligen, sondern verschwindet vielmehr, wenn man die Zufälligkeiten in grosser Zahl zusammenrechnet. Das sogenannte Gesetz der grossen Zahl lässt sich also von dem *Lagrange*schen Satze nicht herleiten, ja scheint sogar mit demselben nicht einmal ganz zusammenzustimmen. Notwendigkeit und Gesetz auf der 8
einen Seite, auf der andern Zufall und Freiheit sind freilich Gegensätze, aber Gegensätze schliessen überhaupt einander nicht aus, sondern sie ergänzen sich. Dass einzelne an und für sich als zufällig erscheinende Ereignisse, z. B. Geburts- und Sterbefälle, Feuersbrünste, dann auch Handlungen, seien sie gut oder böse, und noch viele andre Dinge mehr, zusammensummiert Zahlen geben, welche Jahr aus Jahr ein als konstante anzusehen sind, ist eine, obgleich allbekannte, doch immerhin stets merkwürdige Thatsache. *Rümelin* in seinem trefflichen Aufsatze „Ueber den Begriff eines sozialen Gesetzes“ spricht sich mit guten Gründen dahin aus, dass 9
das, was man in der Statistik das Gesetz der grossen Zahl nennt, nicht sowohl als ein wirkliches Gesetz, sondern nur als ein blosser Ausdruck festbegründeter Thatsachen anzusehen sei. Ich werde dabei aber an meinen früheren Vortrag „Ueber die Bedeutung unveränderlichen Grössen“ erinnert, wo ich gezeigt habe, dass eben solche Zahlen die Grundlage für gleichfalls unveränderliche Gesetze bilden und ihnen den numerischen Ausdruck geben, und in diesem Sinne wird auch der von der Statistik gebrauchte Terminus: das Gesetz der „grossen Zahl“ aufzufassen sein.

Ueberhaupt lassen sich aber auf dem unermesslich weiten Gebiete des Lebens und der Freiheit, wo eigentlich alles in stetem Wechsel begriffen ist, auf dem Gebiete des Handels und Wandels, der Nationalökonomie und der Politik, auf dem Gebiete des Zufälligen, der Statistik und des Versicherungswesens, der Meteorologie u. s. w., lassen sich, sage

ich, die unveränderlichen und die veränderlichen Grössen nicht mehr so scharf trennen, als auf dem Gebiete der mathematischen Physik. Im Leben wird die Notwendigkeit durch Freiheit gemildert, die Freiheit durch die Notwendigkeit beschränkt. Die Mathematik, welche in den physikalischen Wissenschaften ein souveränes Scepter führt, ist auf diesen andern Gebieten zwar auch von unverkennbar grosser Bedeutung, ihre Macht ist aber hier, wenn ich mich so ausdrücken darf, doch wesentlich durch Konstitutionen beschränkt. Gesetze im physikalischen Sinne, Naturgesetze, die sich durch ausnahmslose Notwendigkeit charakterisieren, gibt es in der lebenden Welt nicht, denn Gesetze mit Aus-
10 nahmen pflegt man Regeln zu nennen. So wurden auch, wie ich schon vor etwa 30 Jahren gesagt habe, für die Lebenserscheinungen noch keine Formeln aufgefunden, denn:
11 der Buchstabe tötet, der Geist allein gibt Leben. Sehr bemerkenswert und treffend sagt in dieser Hinsicht *Rümelin* in seiner vorhin erwähnten gehaltvollen akademischen Antrittsrede, Tübingen, 1867: „Wenn mir die Statistik sagt, dass ich im Lauf des nächsten Jahres mit einer Wahrscheinlichkeit von 1 zu 49 sterben, mit einer noch grösseren Wahrscheinlichkeit schmerzliche Lücken in dem Kreis mir teurer Personen zu beklagen haben werde, so muss ich mich unter den Ernst dieser Wahrheit in Demut beugen; wenn sie aber, auf ähnliche Durchschnittszahlen gestützt, mir sagen wollte, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 1 zu so und so viel eine Handlung von mir der Gegenstand eines strafgerichtlichen Erkenntnisses sein werde, so dürfte ich ihr unbedenklich antworten: *ne sutor supra crepidam!*“ —

Ich schliesse meinen Vortrag mit der Bitte, dass Sie, verehrte Anwesende, denselben mit Nachsicht hinnehmen mögen, da er ein Thema behandelt hat, das immerhin zu den schwierigen gehört.

Anmerkungen des Herausgebers.

1. *Galileo Galilei,* Discorsi e dimonstrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica et ai movimenti locali, Leida 1638 (deutsch von *Oettingen,* Leipzig 1890 und 91).

2. *Isaac Newton*, Philosophiae naturalis principia mathematica, London 1687 (deutsch von *Wolfers,* Berlin 1872).

3. Siehe oben S. 50, 218, 220.

4. Die Gegenüberstellung in diesem und dem folgenden Satze stimmt nicht. Der erste Satz könnte etwa lauten: Betrachtet man dagegen die von einem fallenden Körper verwendete Fallzeit y als Funktion der dazu gehörigen Geschwindigkeit x, $f(x) = y$, so erhält man schon eine äusserst verwickelte Formel, und es ist nach mathematischer Ausdrucksweise die Fallzeit y eine transcendentale Funktion von der Geschwindigkeit x. — Vergl. *Schell,* Theorie der Bewegung und der Kräfte, Leipzig 1870, S. 228; *Gehlers* Physikalisches Wörterbuch, IV, Leipzig 1827, S. 10.

5. Das Problem der drei Körper wurde zuerst von *Newton* behandelt (Principia, Abschnitt IX) und sodann von *Lagrange* (Oeuvres, siehe die folgende Anmerkung 7, VI S. 229) u. a. weitergeführt. Man sehe hierüber und über Störungen: *Gehlers* Physikalisches Wörterbuch, VI, Leipzig 1837, S. 1570, 2356; VII, Leipzig 1833, S. 440.

6. Tabularum motuum Solis et Lunae et longitudinum methodus promota, London 1770.

7. *Lagrange* hat einige hierher gehörige Aufsätze geschrieben, welche sich in den Oeuvres de *Lagrange*, publiées par les soins de M. *J. A. Serret*, Paris 1867—82, finden. Die bedeutendste systematische Darstellung enthält: *Laplace*, Théorie analytique de probabilités, Paris 1812. Grundsätze, Resultate und wichtige Anwendungen dieser Theorie ohne die mathematischen Entwicklungen sind gegeben in: *Laplace* Essay philosophique sur les probabilités, Paris 1844 (deutsch von *Schwaiger,* Wien 1886).

8. Nach dem „Gesetz der grossen Zahl“ würden z. B. in dem von *Mayer* angeführten Kartenbeispiel unter einer grossen Anzahl Fälle ebensoviel Rot wie Schwarz zu erwarten sein. Das von *Mayer* vielverwendete Physikalische Wörterbuch von *Gehler* beschreibt jenes Gesetz, wie folgt (Band X, Leipzig 1842 S. 1204): „Wenn man eine grosse Anzahl von Erscheinungen derselben Art beobachtet, so bemerkt man endlich ein gewisses konstantes Zahlenverhältnis, das desto früher und deutlicher hervortritt, je besser und gleichförmiger erstens die Beobachtungen sind, je grösser zweitens die Anzahl derselben ist und je kleiner endlich die Amplituden (Abweichungen) der einzelnen Beobachtungen in Beziehung auf jenes konstante Verhältnis sind.“

9. *Rümelin,* Reden und Aufsätze, Tübingen 1875 S. 1.

10. Vergl. oben S. 355.

11. Vergl. oben S. 45.

50.

Gelegentlich obigen Vortrags im Kaufmännischen Vereine zu Heilbronn sprach *Mayer* die Absicht aus, ein andermal *Goethes* Faust zum Gegenstand eines Vortrags zu machen, es war ihm aber nicht vergönnt, noch einen weiteren zu halten. Dagegen nahm er auch ferner lebhaften Anteil an den Fortschritten der Naturwissenschaften auf Grund seiner Entdeckungen, bewies thätiges Interesse an den Fragen des ärztlichen Berufs durch zahlreiche Rezensionen in den „Memorabilien, Monatsschrift für rationelle Aerzte“ seines Freundes *Friedrich Betz*[1]), erneuerte persönliche Beziehungen durch Besuch der Mathematikerversammlung zu Göttingen 1873 und liebte überhaupt, wie ihm 1875 *Rümelin* bezeugte, das „Nihil humani a me alienum puto“.

Er war nun dahin gelangt, mit Ruhe auf das Getriebe der Welt und der Menschen herabblicken zu können, und auch die Angriffe auf seine Person und Leistungen nicht mehr tragisch zu nehmen, obwohl er für jede Anerkennung empfänglich und dankbar blieb. Krankhafte Erregungen blieben zwar nicht gänzlich aus, sie wurden aber seltener und erträglicher, seit 1871 konnte *Mayer* auf den Besuch eines Asyls wie Kennenburg verzichten. Die Verhältnisse seiner Kinder gestalteten sich befriedigend[2]) und liessen ihn ohne Sorgen in die Zukunft blicken, im

---

[1]) Dieselben, von 1868 bis wenige Monate vor seinem Tode reichend, sind abgedruckt in „Kleinere Schriften und Briefe“ unter XXII.

[2]) Von den drei nicht in den ersten Lebensjahren verstorbenen Kindern *Robert Mayers* ist die älteste Tochter, *Elise Wilhelmine,* verheiratet an den im Reichsdienst stehenden Oberfinanzrat *v. Hegel-*

Jahre 1874 wurde ihm auch die Freude zu teil, eine neue Auflage seiner „Mechanik der Wärme“ herausgeben zu können. So lag auf *Mayers* letzten Jahren ein versöhnender Schimmer.

Auch der Humor war ihm trotz der durchlebten Stürme treu geblieben. Einer seiner Heilbronner Freunde, Dr. med. *Hettich*, berichtet: „*Mayer* war in seiner Vaterstadt eine in allen Kreisen sehr bekannte Persönlichkeit. Sein manchmal ausgelassener Humor [1]) und seine oft beissenden Witze wurden ihm von niemand, selbst von den Betroffenen nicht, verübelt, im Gegenteil mit grossem Jubel und ungeheurer Heiterkeit aufgenommen, da jedermann seine Herzensgüte kannte und wusste,

---

maier in Darmstadt. Der einzige Sohn, *Paul Theodor*, ist seit 1873 praktischer Arzt in Heilbronn, die zweite Tochter, *Emma Johanna*, lebt unverheiratet bei ihrer Mutter in dem Hause, Kirchhöfle 13, welches *Mayer* von 1841 an bis zu seinem Tode, 1878, bewohnte. Dieses Haus hatte *Robert Mayers* Vater 1841 erworben, es war bei dessen Tod 1850 von ihm übernommen worden. Das Geburtshaus *Robert Mayers* (vergl. S. 1), in der Rosengasse neben dem Rathaus, ist infolge eines Strassendurchbruchs nach dem Marktplatz 1883 gefallen. Die *Mayer*sche Apotheke, welche *Robert Mayers* ältester Bruder *Fritz* von 1832 oder 1833 an selbständig geleitet hatte, wurde 1869 verpachtet, und ging, nachdem *Fritz Mayer* 1872 gestorben war, im Jahre 1874 in andre Hände über.

[1]) Als Beispiel solchen Humors betrachten wir auch das folgende Geschehnis, welche *Theobald Kerner* (Sohn von *Justinus Kerner*) mit Hinweis auf *Mayers* „zweierlei Naturen, gutes und böses Princip, wobei man oft an ein Besessensein hätte glauben können“, erzählt: *Mayer* und *Kerner* sassen eines Vormittags allein in einer Wirtschaft; ersterer war vollkommen ruhig und nüchtern. Da trat ein auffallend grosser und dicker Mann herein, etwa ein Metzger oder Bierbrauer vom Lande. *Mayer* trat sofort auf ihn zu und fragte laut und langsam: „Mein Herr, was halten Sie von der Seelenwanderung?“ — „Ach Unsinn“, knurrte der Mann und setzte sich nieder. *Mayer* flüsterte *Kerner* zu: „O merkwürdig, ganz merkwürdig! hast du gehört, was er über die Seelenwanderung gesagt hat? Es sei Unsinn! Ganz derselben Meinung bin auch ich“. — Als *Kerner* auf der Strasse frug, wie *Mayer* zu diesem Auftreten komme, antwortete dieser dem Sohne des Verfassers der Seherin von Prevorst: „Ja siehst Du, das möchte ich eigentlich selbst wissen, ich kann Dir nur sagen, ich konnte nicht anders. Als der Mann so derb und gross und materiell hereinkam, dachte ich: der muss es wissen. Bei dem ist noch ein primitiver Urzustand; Seele und Leib haben sich noch nicht chaotisch vermengt“.

dass es von ihm nicht so böse gemeint war.“ *Heinrich Rohlfs* schreibt über ein Zusammensein mit *Mayer* im Kreise Heilbronner Honoratioren 1876: „Dabei entwickelte *Mayer* einen blendenden Witz, einen köstlichen, oft scharfen, aber stets zugleich gutmütigen Humor und eine so einnehmende Kindlichkeit und Liebenswürdigkeit, dass ich ganz hingerissen wurde.“

Mayer konnte nun sicher sein, dass jede seiner Schriften mit allseitigem Interesse entgegengenommen würde. Dies zeigte sich auch bei der folgenden Erklärung der Lichtfortpflanzung in der *Toricelli*schen Leere durch verdünnte atmosphärische Luft als Medium, obwohl angesichts der üblichen Annahme eines alles durchdringenden „Aethers“ ein Bedürfnis für eine neue Erklärung nicht empfunden worden war. Die erste Veröffentlichung des kleinen Aufsatzes erfolgte in der „Besonderen Beilage des Staatsanzeigers für Württemberg“ vom 6. März 1875 (Nr. V, S. 12).

XII.

Die Torricellische Leere.

(Staatsanzeiger für Württemberg, 1875.)

In früheren Zeiten hat man viel darüber gestritten, ob es in der Welt einen absolut leeren Raum gäbe? Seitdem 1
man aber, durch Thatsachen gezwungen, die sogenannte *Newton*sche Emanationstheorie, nach welcher das Licht ein besonders gedachter Stoff sein sollte, welcher mit unendlicher Geschwindigkeit das Weltall durchströme, verlassen, und die nunmehr zur allgemeinen Herrschaft gelangte Vibrationstheorie angenommen hat, ist man hierüber so ziemlich ins 2
reine gekommen. Man weiss jetzt, dass die Lichterscheinungen, wie die Schallwellen, in Schwingungen ponderabler Materien bestehen, welche mit einer allerdings ungeheuren Geschwindigkeit vor sich gehen. Solche Materien, welche fähig sind, Lichtschwingungen anzunehmen und fortzuleiten, nennen wir durchsichtig; solche Materien dagegen, welchen diese Eigenschaft abgeht, sind undurchsichtig. Da nun das Licht der Gestirne, wie wir alle wissen, auf unsere Erde gelangt, so muss daraus notwendig gefolgert werden, dass der die Sterne trennende unermessliche Weltraum mit einem lichtleitenden, d. h. durchsichtigen Stoffe erfüllt ist, den man bekanntlich den (astronomischen) Aether nennt, welcher, mit der die feste Erdoberfläche berührenden Luftschicht verglichen, von ganz ausserordentlicher Feinheit ist. Das Natürlichste und Einfachste aber ist, anzunehmen, dass dieser

„Aether“ aus keiner andern Substanz besteht, als eben unsere atmosphärische Luft auch, und dass also nur der Dichtigkeitsgrad den Unterschied beider Stoffe ausmacht.

Nach diesen Vorbemerkungen wollen wir zu dem Gegenstande unserer Besprechung selbst übergehen. Der grosse *Galilei* war es, von welchem der Gedanke ausging, die Dichtigkeit unserer Atmosphäre durch eine Flüssigkeitssäule, welche man das Barometer nennt, zu messen. *Torricelli* hat diese Idee weiter verfolgt und realisiert, und nach ihm heisst, wie bekannt, der leere Raum, welcher sogleich entsteht, wenn man eine mit Quecksilber gefüllte Glasröhre von entsprechender Höhe aus der horizontalen Lage in die senkrechte Stellung bringt, die *Torricelli*sche Leere. Da aber das Licht, wie wir in jedem Augenblicke sehen können, auch durch diesen Raum ganz ungehindert hindurchgeht, so so kann derselbe in keinem Falle aus einem absoluten Vakuum bestehen, und es entsteht jetzt die Frage: Welche Substanz erfüllt diesen Raum, geeignet, die Lichtschwingung fortzupflanzen? Um sich hier zu helfen, hat man die allerdings naheliegende Vermutung ausgesprochen, es mögen Quecksilberdämpfe sein, welche den *Torricelli*schen Raum erfüllen. Das Quecksilber ist nun wohl, wie man weiss, ein flüchtiges Metall; dass diese Flüchtigkeit aber eine so grosse sei, um einen so plötzlich entstehenden Raum, selbst bei sehr niederer Temperatur, zu erfüllen, ist offenbar eine ganz unnatürliche Annahme; dazu kommt noch, dass metallische Dämpfe keineswegs durchsichtig sind, die *Torricelli*sche Leere aber so durchsichtig wie die Luft ist. Wir müssen also die Annahme von einem lichtleitenden Quecksilberdampfe ganz fallen lassen.

Die Auflösung des Rätsels ist aber dennoch nach meiner Ansicht nicht schwierig, nur müssen wir zu derselben die Adhäsion in Betracht ziehen. Leeren wir z. B. ein Glas Wasser aus, so sehen wir, dass die Flüssigkeit nicht ganz ausfliesst: die Wände des Gefässes bleiben nass, und dieses eben nennt man die Adhäsion. Diese Eigenschaft zu adhärieren kommt nicht nur den tropfbaren, sie kommt auch

den elastischen Flüssigkeiten zu, wie ich durch direkte Versuche nachgewiesen habe. Zu dem Ende habe ich, wie ich seinerzeit an die Turiner Akademie der Wissenschaften, welcher ich als auswärtiges Mitglied angehöre, berichtet, 3 eine genau abgewogene Kupferplatte wiederholt in die Röhre eines thätigen Ventilators befestigt, wo sich nach Verlauf weniger Monate eine, wenn auch geringe, so doch wägbare Gewichtsabnahme der Metallplatte ergeben hat. Diese Gewichtsabnahme konnte nur durch die Reibung der an der Kupferplatte adhärierenden Luft hervorgebracht sein. Luftadhäsion ist es eben auch, auf welcher überhaupt die Wirkungen des Windes beruhen, z. B. die Wellenbildung der Gewässer, welche man auf der See im grössten Massstabe zu beobachten Gelegenheit hat. — Füllt man nun eine Glasröhre mit Quecksilber, so behaupte ich, dass das Quecksilber das Glas nicht unmittelbar berührt, sondern dass eine, wenn auch unmerklich dünne Luftschicht zwischen diesen beiden Substanzen sich befindet, welche aus der am Glase sowohl als am Quecksilber adhärierenden atmosphärischen Luft besteht, und diese Luftschicht ist es auch, welche macht, dass das Quecksilber am Glase nicht adhäriert. In dem Augenblicke nun, wo das Quecksilber in der Barometerröhre herabsinkt, expandiert sich diese elastische Luftschicht, und so wird dieser Raum sofort mit einem Medium erfüllt, das das Licht leitet, wie es der Aether im Weltraume thut. 4 Ohne Zweifel ist aber die Dichtigkeit der Luft in der sogenannten *Torricelli*schen Leere noch ohne Vergleich grösser, als die des astronomischen Aethers.

Anmerkungen des Herausgebers.

1. Während die griechischen Atomisten alle Körper (auch die Wärme und selbst die Seele) aus unveränderlichen Atomen im leeren Raum bestehen liessen, stattete *Aristoteles* die Natur mit einem „horror vacui“ aus, infolgedessen der an sich denkbare leere Raum thatsächlich

ausgeschlossen sei. Die Frage nach der Existenz eines leeren Raumes spielte dann im 16. und 17. Jahrhundert wieder eine grosse Rolle. Nach *Descartes* sollte ein solcher in der Natur nicht vorkommen, während *Galilei* die grössere oder geringere Festigkeit der Körper auf die verschiedenen leeren Räume in ihnen zurückführte, in welche die Materie vermöge des horror vacui einzudringen strebe, ohne wegen der Kleinheit der Räume hineingelangen zu können. Auch das Ansaugen des Wassers beim Heben des Pumpenkolbens schrieb *Galilei* wie schon *Aristoteles* dem horror vacui zu. Die Luftpumpe verdankt ihre Erfindung dem Streben *Guerickes*, über die Frage des leeren Raums Klarheit zu erlangen, und *Torricelli* hielt es für nötig, ausdrücklich zu bemerken, dass es sich bei seinen Versuchen mit der Quecksilbersäule nicht nur um die Frage des leeren Raums, sondern in erster Linie um ein Instrument zur Messung von Luftdruckänderungen gehandelt habe (Brief an *Ricci* 1644). Durch diese Versuche und deren Weiterführung im Sinne *Pascals* kam der horror vacui zu Fall, was in seinen Folgen den Zusammenbruch der mittelalterlichen Physik bedeutete.

2. Die zuerst von *Huyghens* (Traité de la lumière, Leyden 1690) aufgestellte Vibrationstheorie des Lichts gelangte in den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts zur Herrschaft (Arbeiten von *Young, Fresnel, Cauchy* etc.).

3. Siehe „Kleinere Schriften und Briefe“, XIV 5.

4. Nach der mathematischen Physik werden Transversalschwingungen in tropfbaren und gasförmigen Flüssigkeiten nicht fortgepflanzt (siehe z. B. *Weyrauch*, Theorie elastischer Körper, Leipzig 1884, S. 253, 261, 262), weshalb man dem Lichtäther andere Eigenschaften als den Flüssigkeiten beilegte.

Robert Mayer.

51.

Ueber die äussere Erscheinung *Mayers* berichtet *Rümelin*: „Die Aufgabe, auch das Aeussere einer Persönlichkeit zu schildern, ist dem Biographen heute durch den Photographen abgenommen. Doch stammen die vorhandenen Bilder alle schon aus den Zeiten seiner Erkrankung und haben einen Ausdruck düsteren Ernstes, während in den guten Tagen seine Züge blühend, heiter und freundlich erschienen. Er war von etwas mehr als mittlerer Grösse und wohlgebaut, trug sich aber etwas nachlässig und vorgebeugt. Die unablässige Kopfarbeit sah man ihm schon auf der Strasse an, da er immer nachdenklich vor sich hinblickte. Er besass feine und aufmerksame Sinnesorgane, doch ohne kunstsinnige Neigung oder Entwickelung. Ausser der Poesie wirkte keine der schönen Künste auf ihn.“

Arthur Mülberger, welcher im Jahre 1871 als Assistenzarzt in Kennenburg einige Monate mit *Mayer* zusammenlebte, äussert sich wie folgt: „Er war von mittlerer Grösse, schlank gebaut, ohne aber den Eindruck der Schwächlichkeit zu machen; die Körperhaltung war selbst beim Sitzen etwas gekrümmt. Das Gesamtaussehen entsprach seinem Alter, das eines angehenden Sechzigers. Die an sich unschöne Gesichtsbildung gewann beim Sprechen unverkennbar und die kleinen enggeschlitzten Augen blickten lebhaft genug, um selbst hinter der Brille ihr ungewöhnliches Feuer leuchten zu lassen. Ganz eigentümlich war die Bildung des etwas grossen Mundes; war derselbe geschlossen, so lief die Mundspalte als schnurgerade Linie, die mit der übrigen Beweglichkeit des Gesichtes merkwürdig kontrastierte und einen ausgesprochen sarkastischen Charakter trug. Der ganze Gesichtsausdruck erinnerte an das, was man verwettert zu nennen pflegt.“

Heinrich Rohlfs, medizinischer Schriftsteller und Herausgeber des seither eingegangenen „Deutschen Archivs für Geschichte der Medizin und medizinische Geographie“, gibt seine Eindrücke bei einem Besuche *Mayers* in Heilbronn 1876 wie folgt wieder: „Von mittlerer Statur, frappierte er durch sein geistreiches Auge. Dasselbe verriet zugleich den tiefen, forschenden, dem Wesen der Dinge nachspürenden Denker. Ein ganz eigentümlicher Blick strahlte einem aus den dunklen braunen Augen entgegen. Etwas scharf Beobachtendes tief Eindringendes, Durchbohrendes und doch Träumerisches, nach innen Gekehrtes, die Aussenwelt Vergessendes und doch zugleich bei allem Ernste Schalkhaftes. Dazu gaben die dichtbehaarten Brauen dem wunderbaren Zauber, welcher dem Auge entquoll, etwas Melancholisches, Ernstes, geisterhaft Verklärtes. Es war mir klar, die ganze Macht seiner Persönlichkeit lag in seinem Auge und eben dies gab nicht bloss seinem Gesichte, sondern seinem ganzen Kopfe etwas ungemein Einnehmendes, Originelles, jeden Menschenkenner Hinreissendes. Betrachtete man bei ihm die einzelnen Teile seines Gesichts, so durfte man von ihnen nicht aussagen, dass sie Anspruch auf Schönheit hätten machen können; seine Stirn stand nicht im Verhältnis zu dem unteren Teil des Gesichts, sie war zu niedrig und zu schmal, die Ohren zu lang, die Nase an ihrer Spitze zu breit, der Mund zu gross. Und doch war der Gesamteindruck ein imponierender. Jeder Unbefangene musste den Eindruck empfangen, dass er es hier mit einer ungewöhnlichen Persönlichkeit zu thun habe, es war, als wenn das Auge, diese Leuchte des Geistes, seinen Abglanz über alle einzelnen Teile ausstrahlte.“

Eugen Dühring schliesslich, der scharfsinnige Verfasser der „Kritischen Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik“ und andrer hervorragender Schriften auf verschiedenen Gebieten, bemerkt anlässlich eines mehrtägigen Besuches, welchen ihm *Mayer* 1877 in Wildbad abstattete u. a. folgendes: „Der Eindruck, den er persönlich machte war ein sehr günstiger. Wer ihn sah, musste sofort die Einfachheit und Bescheidenheit seines Wesens schon im Aeusseren, ja auch im Anzuge bemerken. Er war in den Sechzigern und dennoch, trotz der im Gebirge oft kalten Morgen und Abende, in einem einfachen leichten Rock und runden Hut, ohne jegliche Päckerei und mit einer kleinen Umhängetasche angelangt. Niemand konnte ihn für einen Gelehrten halten. Er war frei von dem Habitus dieses Standes;

denn nicht einmal eine Brille, die er trug, veranlasste zu einer solchen Voraussetzung. Seine Art und Weise war von jeder Gelehrtenbeengung degagiert. Leute aus dem Volke hätten ihn eher für alles Andere genommen. Aus eigener Wahrnehmung kann ich nur seine Redeweise und sich darin bekundende Benehmungsart kennzeichnen. Sie stimmte mit dem, was man mir sonst von ihm sagte. Er sprach den schwäbischen Volksdialekt, an den ich übrigens längst gewöhnt war, so ungemischt und so lebendig, dass auch der geübte Fremde scharf aufmerken musste, um zu folgen. Sicherlich hätte in der Physiognomie dieses Mannes nur der tiefer Eindringende den Forscher und Denker erkannt; denn in der Physiognomie des Gesprächs zeichnete sich für die gewöhnlichen Beobachter nichts aus, als etwa die Schnelligkeit und Leichtigkeit der Wendungen sowie die Fülle von volksmässig einfachen Ausdrücken, ja selbst von Sprichwörtern. In alledem war nichts enthalten, was nicht das Gegenteil von Affektiertheit und Manieriertheit gewesen wäre. *Robert Mayer* gab sich einfach wie die Natur, auf die und mit der er sich ja in einem Hauptpunkte der Physik verstanden hatte."

Im Jahre 1876 nahm *Mayer* ein Problem in Angriff, welches er schon in früheren Abhandlungen und Briefen berührt hatte. Am 22. März 1876 brachte die „Besondere Beilage des Staatsanzeigers für Württemberg" (Nr. 7, S. 104—107) den folgenden Aufsatz, welcher im gleichen Jahre, vereint mit dem vorhergehenden, auch als Broschüre unter dem Titel: „Die *Torricelli*sche Leere und über Auslösung" bei *Cotta* in Stuttgart erschien.

XIII.

Ueber Auslösung.

(Staatsanzeiger für Württemberg, 1876.)

Sehr viele Naturprozesse gehen nur dann vor sich, wenn sie durch einen Anstoss eingeleitet werden, und dieser Vorgang ist es, welchen die neuere Wissenschaft „die Aus-
1 lösung“ nennt. Eines der nächstliegenden Beispiele ist wohl das Knallgas. Eine Mischung von Sauerstoff und Wasserstoffgas in dem Verhältnisse, in welchem solche das Wasser liefert, tritt bekanntlich an und für sich in keine chemische Verbindung, bis dieselbe durch Wärme oder einen elektrischen Funken, oder durch Platinschwarz, eingeleitet wird. Ebenso, wenn wir durch ein bisschen Reibungswärme ein Streichhölzchen entzünden und mittelst dieses brennenden Streichhölzchens einen weiteren beliebig grossen Verbrennungsprozess einleiten, so haben wir auch hier wieder ein einfaches Beispiel von „Auslösung“, und solche Beispiele sind uns in unendlicher Fülle nahe gelegt. Ein leichter Druck mit dem Finger bringt bei Schusswaffen einen gewaltigen Effect hervor u. s. w.

Zur Darlegung der zwischen Bewegung und Wärme stattfindenden Aequivalenz habe ich in einem im Jahr 1842 in *Wöhler* und *Liebigs* Annalen erschienenen Artikel den
2 Satz „*causa aequat effectum*“ aufgestellt, und dort gesagt, dass bald die Bewegung als Ursache der erzeugten Wärme, bald die Wärme als Ursache der erzeugten Bewegung anzusehen

sei. Diese Behauptung wird wohl gegenwärtig von niemand mehr bestritten. Der Satz: die Ursache ist gleich der Wirkung, ist dann unzweifelhaft richtig, wenn die Ausdrücke „Ursache und Wirkung“ in dem Sinne und der Bedeutung gebraucht werden, wie sie in dem erwähnten Artikel gebraucht sind. In ganz anderem Sinne pflegt man aber auch bei der Auslösung von Ursache und Wirkung zu sprechen, wo dann die Ursache der Wirkung nicht nur nicht gleich oder proportional ist, sondern wo überhaupt zwischen Ursache und Wirkung gar keine quantitative Beziehung besteht, vielmehr in der Regel die Ursache der Wirkung gegenüber eine verschwindend kleine Grösse zu nennen ist. Man könnte freilich bei der Auslösung statt Ursache und Wirkung auch „Anstoss“ oder „Veranlassung“ und „Erfolg“ sagen; ich habe mich jedoch von jeher dem herrschenden Sprachgebrauche gerne accomodiert, wobei ich aber bemerken 3
muss, dass die Auslösungserscheinungen deshalb keine Ausnahme von dem Satze „*causa aequat effectum*“ begründen, weil bei diesen letzteren die Ausdrücke „Ursache und Wirkung“ in total anderem Sinne gebraucht sind.

Fassen wir diese Sache, auch von einer andern Seite aus gesehen, scharf ins Auge. Zu wiederholten Malen habe ich schon darauf hingewiesen, dass das Wesen und der Fortschritt der neueren Physik vor allem darauf beruht, dass man die Untersuchungsobjekte numerisch bestimmt, d. h. nach unveränderlichen Einheiten zählt. Die mechanische Arbeitseinheit heisst bekanntlich das „Meterkilogramm“, die Einheit der Wärme aber nennt man „Wärmeeinheit“ oder „Kalorie“. Ist man einmal so weit, so kostet es nur noch einen Schritt, um das zwischen Arbeits- und Wärmeeinheit bestehende Grössenverhältnis zu erkennen, womit man in Besitz des mechanischen Wärmeäquivalents gekommen ist. Wir haben auf solche Weise eine ganz solide Grundlage für die Wissenschaft gewonnen, aber es ist eben nur die Grundlage, bei der wir nicht stehen bleiben dürfen, denn so lange man im Bahnhofe verweilt, kommt man auf seinem Wege nicht weiter; ist man aber aus dem Wartsaale in den

Waggon getreten, so bewegt man sich so zu sagen in einer ganz andern Welt. Die zahllosen Auslösungsprozesse haben nun das unterscheidende Merkmal gemein, dass bei denselben nicht mehr nach Einheiten zu zählen ist, mithin die Auslösung überhaupt kein Gegenstand mehr für die Mathematik ist. Das Gebiet der Mathematik hat, wie jedes andere Reich auch, seine natürlichen Grenzen, und unser jetziges Gebiet liegt eben ausserhalb dieser Grenze. Die unendliche Menge von Auslösungsvorgängen entzieht sich jeder Berechnung, denn Qualitäten lassen sich nicht, wie Quantitäten, numerisch bestimmen. Nur der könnte sich darüber wundern, welcher aus mangelnder Sachkenntnis der Mathematik mehr zutraut, als dieselbe überhaupt ihrer Natur nach zu leisten im stande ist. Wenn wir aber auch, um zu unserem vorliegenden Gegenstande zu gelangen, die numerische Methode verlassen haben und verlassen mussten, so werden wir uns deshalb nichtsdestoweniger auf solidem, thatsächlichem Boden fortbewegen.

Die Auslösungen spielen nicht nur in der anorganischen Natur, aus welcher die eingangs erwähnten Beispiele genommen wurden, sondern auch in der lebenden Welt, und namentlich also in der Physiologie und Psychologie, eine grosse und wichtige Rolle. Alle Gärungsprozesse beruhen auf Auslösung. Der ternäre, aus Sauerstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff zusammengesetzte Zucker zeigt auch in wässriger Auflösung keine Neigung zur Gärung. Bringt man aber in die Zuckerlösung nur eine geringe Menge von Gärungsstoff, von Ferment, einer quaternär zusammengesetzten, sehr stickstoffreichen Substanz, so wird damit die Fermentation sofort eingeleitet und durchgeführt, ähnlich, als wenn man auf einen Haufen trockenen Sägmehles ein Stück glimmenden Zunder wirft.

Treten wir in die lebende Welt ein, so sehen wir, dass unser ganzes Leben an einen ununterbrochenen Auslösungsprozess geknüpft ist, den wir nun näher zu untersuchen haben. Die während des Lebens beständig vor sich gehenden Bewegungserscheinungen beruhen alle auf Auslösung. Man kann

diese Bewegungen einteilen in unwillkürliche, halbwillkürliche und willkürliche; da aber die letzteren das deutlichste Bild von Auslösung geben, so wollen wir uns hier ausschliesslich an diese halten. Die willkürlichen Bewegungen entstehen bekanntlich durch Kontraktion quergestreifter Muskelfasern; die Auslösung aber erfolgt durch die Einwirkung der ganglienfreien motorischen Nerven. Oft und passend hat man die Nerven mit Telegraphendrähten verglichen. Allerdings ist die Geschwindigkeit der Nervenleitung, verglichen mit der Geschwindigkeit der elektrischen Schwingung im Drahte, eine unendlich geringe; aber immerhin ist sie noch gross genug (bei etwa 30 Metern in der Sekunde), um bei den geringen Distanzen, um welche es sich hier handelt, als unendlich gross zu erscheinen. Der Wille wird also, freilich auf eine völlig rätselhafte und unbegreifliche Weise, durch die Bewegungsnerven zu den entsprechenden Muskeln geleitet, und auf diese Weise erfolgt sofort die Auslösung, die gewünschte Aktion. Es sind dieses bekannte Dinge. Nun will ich aber auf etwas aufmerksam machen, das, so viel ich weiss, bis jetzt noch keine Beachtung gefunden hat, obgleich solches nach meiner Ansicht von grosser Wichtigkeit ist.

Die motorischen Nerven haben mit den mit Ganglien versehenen sensitiven Nervenwurzeln ein gemeinschaftliches Centrum, das *sensorium commune*, und es besteht nun die Einrichtung, dass der jeweilige Zustand des Auslösungsapparates für das Allgemeingefühl oder für das allgemeine Befinden massgebend ist. Ein behagliches Gesundheitsgefühl beurkundet einen ungestörten Auslösungsapparat, während andererseits jede in letzterem eingetretene Störung sich durch sehr unangenehme Empfindungen kundgibt. Im allgemeinen gilt also der Satz, dass richtige physiologische Auslösungen, wenn nämlich solche gewisse Grenzen nicht überschreiten, angenehm empfunden werden, und es beruhen auch auf dieser Thatsache eine Menge von Vergnügungen, z. B. Spazierengehen, Singen, Tanzen, Schwimmen, Schlittschuhlaufen u. dergl. m. Spiri-

tuosen befördern leiblich und geistig die Auslösung, „der Wein erfreut des Menschen Herz“, wogegen Narcotica die Auslösung deprimieren und deshalb auch, besonders bei nervenschwachen Personen, bei Weibern und Kindern, leicht sehr unangenehme Sensationen hervorrufen. Ist also der Auslösungsapparat gestört, so tritt Leiden an die Stelle der Freude. In Krankheiten, namentlich in Fiebern, ist gleichmässig, wie das Auslösungsvermögen, so auch das Gemeingefühl gestört. In einer kurzen, im Jahr 1862 erschienenen Abhandlung „über das Fieber“ habe ich darauf hingewiesen, dass die Störung der Wärmeregulation ein wesentliches Symptom aller fieberhaften Krankheiten sei, und es ist dies inzwischen auch von andern Pathologen anerkannt worden. Das damit gleichzeitig gestörte Auslösungsvermögen manifestiert sich aber deutlich durch schmerzhafte Mattigkeit und Abgeschlagenheit der Glieder, weshalb auch ohne Zweifel der Typhus, wo solche Symptome besonders stark hervortreten, den Namen „Nervenfieber“ bekommen hat. So entsteht auch nach Sehnendurchschneidungen, wodurch die Auslösung lokal unterbrochen wird, jedesmal, worauf hauptsächlich *Heine* aufmerksam gemacht hat, ein sehr lästiges Gefühl von Pelzigwerden der betreffenden Muskelpartien. Leute, bei denen die Auslösung örtlich, sei es durch Missbildung oder durch Verlust von Gliedmassen, beeinträchtigt, beziehungsweise abgeschnitten ist, sind von einer fortwährenden Verstimmung, welche die Gewohnheit wohl mildern, aber nie ganz aufheben kann, geplagt. Es geht aus dem Gesagten, wie ich hier beiläufig bemerken will, auch klar hervor, wie verkehrt es ist, wenn man in unverantwortlichem Schlendrian bei psychischen Leiden und geistigen Störungen, welche ohnedies keinem Sterblichen je ganz erspart bleiben, die so nötigen Auslösungen auf brutale Weise mit Zwangsjacken, Zwangsstühlen und Zwangsbetten unterdrückt. Freilich ist dies eine sehr bequeme Methode, indem solche gar keine Kunst erfordert; dieselbe gereicht aber erfahrungsgemäss in allen Fällen den so Misshandelten zu grossem Nachtheile und lässt im günstigsten Falle ein bleibendes

Gefühl von Verbitterung zurück. Möge, wer derartiges unsinniges Zeug anzuwenden im stande ist, nur nicht auf den Titel eines gewissenhaften Arztes Anspruch erheben! — Wie 6
die Trauer ein passiver, so ist der Zorn ein aktiver Seelenschmerz, der die Auslösungstendenz, und zwar vor allem die der Zunge, gewaltig steigert und sich dadurch Luft macht, womit aber nicht notwendig gegeben ist, dass die *in ira* begangenen Handlungen unzweckmässig und zerstörend sein müssen. Wenn der Ungeduldige z. B. seinen Zorn an einem Scheite Brennholz auslässt, das er zersägt und zerspaltet, so begeht er, während er sich Luft macht, auch noch eine äusserlich zweckmässige Handlung.

Physiologische Auslösungen in höchster Potenz sind die sexuellen Verrichtungen. Es gibt aber auch pathologische Auslösungen, die der Vollständigkeit wegen hier ebenfalls erwähnt werden müssen. Es sind dies die infolge von Ansteckung eintretenden Krankheitsprozesse. Das Kontagium ist das Ferment, welches die pathologische Auslösung bewirkt, sei es z. B. die höchst wohlthätige Kuhpockenlymphe, sei es das entsetzliche Leichengift. — Doch kehren wir zum Hauptgegenstande unserer vorliegenden Besprechung, zu der an die Auslösung in der Regel angeknüpften angenehmen Empfindung zurück. Nicht nur die inneren physiologischen Auslösungen sind eine Quelle von Wohlbehagen und Freude; auch äussere Auslösungen zu bewirken gewährt dem Menschen Vergnügen. Sehr bezeichnend sagt der Dichter:

„Freude, schöner Götterfunken."

Der Funken ist es ja eben, wie wir schon im Eingange gesehen haben, der in unzähligen Fällen die Auslösung bewirkt. Der Mensch ist seiner Natur nach so beschaffen, 7
dass er gerne mit Aufwendung geringer Mittel möglichst grosse Erfolge erzielt. Das Vergnügen, das man beim Abfeuern von Schusswaffen empfindet, ist hierfür ein sprechender Beleg. Aus meinen Knabenjahren erinnere ich mich noch wohl, wie ich an freien Nachmittagen manche Stunde damit zubrachte, in einer Sägmühle durch Druck auf einen Hebel die Stellfalle zu ziehen und so das Werk in Bewegung zu

setzen. Das Rosselenken beim Reiten und Fahren ist hierher ebenfalls zu rechnen u. s. w. Wenn aber auch das Bewirken von Auslösungen eine unerschöpfliche Quelle erlaubter Freuden und harmloser Vergnügungen ist, so muss doch bemerkt werden, dass die Sache leider auch sehr oft zu den verkehrtesten Handlungen und zu den strafbarsten Verbrechen führt. Wir brauchen nicht auf *Herostratos* zurückzugreifen, sondern wir können uns mit der Gegenwart begnügen. Attentate haben ohne Zweifel in der Regel ihren Grund in der Sucht, recht eklatante Erfolge zu erzielen, d. h. also möglichst gewaltige Auslösungen zu bewirken; ebenso ist es mit dem Brandstiften und dem schrecklichen Unternehmen, durch auf die Schienen gewälzte Steinblöcke ganzen Bahnzügen den Untergang zu bereiten. Ja, wäre unser Planet so beschaffen, dass es jedem möglich wäre, denselben wie ein mit Dynamit gefülltes Gefäss auseinander zu sprengen, so würden sich sicher zu jeder Zeit Leute genug finden, bereit, mit Aufopferung ihres eigenen Lebens unsere schöne Erde in den Weltraum explodieren zu lassen. *Faust* sagt zu *Mephistopheles:*

„Schlägst du erst diese Welt zu Trümmern,"

und *Wallenstein* spricht:

— eh' ich sinke in die Nichtigkeit,
So klein aufhöre, der so gross begonnen;
Eh' mich die Welt mit jenen Elenden
Verwechselt, die der Tag erschafft und stürzt:
Eh' spreche Welt und Nachwelt meinen Namen
Mit Abscheu aus, und F r i e d l a n d sei die Losung
Für jede fluchenswerte That.

Zu welchen beklagenswerten Anomalien auch die sexuellen Auslösungen nur gar zu oft führen, ist bekannt genug.

Uebrigens kann es nicht meine Absicht sein, einen an und für sich unerschöpflichen Gegenstand hier erschöpfend behandeln zu wollen, und ich begnüge mich damit, denselben überhaupt, und zwar in möglichster Kürze, in Anregung gebracht zu haben.

Anmerkungen des Herausgebers.

1. Der Begriff der Auslösung, scharf unterschieden von Ursache und Wirkung als Arbeitsäquivalenten, tritt bei *Mayer* zum erstenmal auf in einem Briefe an *Griesinger* vom 20. Juli 1844, „Kleinere Schriften und Briefe“, VII 13. Vergl. im Aufsatze über die organische Bewegung 1845 oben S. 87, 91, 92, 102, 104, 124.

2. Aufsatz I dieses Werkes, S. 23.

3. Bezüglich der Bezeichnung „Kraft“ hat *Mayer* von Anfang an eine Ausnahme gemacht. Vergl. oben S. 23, 129, 250, 278, 343.

4. Vergl. oben S. 355.

5. Aufsatz VI dieses Werkes, S. 324.

6. Am 5. Dezember 1877 schrieb *Mayer* an *Heinrich Rohlfs*: „Wie Sie sich leicht denken können, so bezieht sich auch der Passus in meinem Auslösungsartikel über Zwangsjacken u. dergl., den Sie kennen und richtig erfunden haben, auf die leidigen Erfahrungen, die ich darüber in Göppingen und Winnenthal machen musste. Vergl. Deutsches Archiv für Geschichte der Medizin und medizinische Geographie, II, Leipzig 1879, S. 354.

7. Der Umstand, dass durch den kleinsten Funken der grösste Brand entstehen kann, worin mehrfach eine Schwierigkeit für die Bewegungsnatur der Wärme gefunden worden (z. B. von *Euler*), scheint die Pariser Akademie zu der Preisfrage von 1738 veranlasst zu haben: De la nature et de la propagation du feu. Alle Lösungen (darunter solche von *Voltaire*, *Euler*) fielen im Sinne der Stoffnatur der Wärme aus. Vergl. *Nollet*, Leçons de physique experimentale, VI, Paris 1784, p. 156; *Berthold*, *Rumford* und die mechanische Wärmetheorie, Heidelberg 1875, S. 6.

8. Im Jahre 1874 hatte in Kissingen der 21jährige Böttchergeselle *Kullmann* auf *Bismarck*, 1875 *Wera Sassulitsch* auf den Petersburger Stadthauptmann *Trepow* geschossen. — Die Attentate von *Hödel* und *Nobiling* auf Kaiser *Wilhelm I.* fanden erst 1878, das Attentat, welchem *Alexander II.* von Russland zum Opfer fiel, 1881 statt.

Robert Mayer.

52.

Nach Mitteilung *Dühr*ings sprach *Mayer* bei seinem Besuche in Wildbad 1877 die Absicht aus, seine Erörterungen über Auslösung in einer umfassenderen Arbeit zum Abschluss zu bringen, und diese um den *Bressa*-Preis (von 12000 Franken) der Turiner Akademie der Wissenschaften (deren Mitglied *Mayer* seit 1867 war) konkurrieren zu lassen. Doch ist dieser Plan nicht mehr zur Ausführung gekommen.

Eugen Dühring, seit 1863 Privatdozent an der Berliner Universität, hatte in seinem 1872 von der philosophischen Fakultät zu Göttingen preisgekrönten Werke, „Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik“, die Bedeutung der *Mayer*schen Entdeckungen und insbesondere des mechanischen Wärmeäquivalents in klarer und überzeugender Weise dargelegt, und dieser Darlegung in der zweiten Auflage 1877 einige verletzende Bemerkungen über *Helmholtz* folgen lassen (S. 444, 460 daselbst). Er hatte hierdurch und durch eine karikierte Skizze von Universitätsverhältnissen in einer andern Schrift (Der Weg zur höheren Berufsbildung der Frauen und die Lehrweise der Universitäten, Leipzig 1877, S. 37 bis 39) ein Vorgehen der Berliner philosophischen Fakultät gegen sich veranlasst, welches mit seiner Entfernung als Privatdozent endigte (7. Juli 1877).

Bei der anerkannten wissenschaftlichen Bedeutung *Dühr*ings erregte dieses ungewöhnliche Verfahren allgemeines Aufsehen, alle Tagesblätter berichteten darüber, Studentenversammlungen fanden statt, ein „Aufruf Berliner Studierender an die Studierenden Deutschlands“ erklärte die Freiheit der Wissenschaft in Gefahr und wurde in Tausenden von Exemplaren verbreitet, der

Namen und die Verdienste *Mayers* kamen damit in aller Mund. *Dühring* hatte ihm einige den Fall betreffende Zeitungsartikel schicken lassen, worauf *Mayer* unterm 27. Juni sein Bedauern ausdrückte, dass sich *Dühring* durch sein Eintreten für ihn soviel Unannehmlichkeiten zugezogen habe. „Ein Zweifel an professoraler Unfehlbarkeit ist, wie es scheint, bei der Berliner Universität ein schweres Disziplinarvergehen. Zu bedenken gebe ich aber, dass wenn es je meinen Landsleuten gelänge, mich zu beseitigen, niemand anders als der Engländer *Joule* die Erbschaft antreten könnte und würde.“ Als *Mayer* durch eine weitere Sendung *Dührings* aus Wildbad erfuhr, dass dieser sich in der Nähe von Heilbronn befinde, suchte er ihn am 31. Juli 1877 auf. Im folgenden Winter hielt *Dühring* in Berlin und Leipzig Vorträge „Ueber die Verfolgung bahnbrechender Wissenschaftsgrössen durch die Handwerksgelehrten“, worin als Vorfolgte *Feuerbach, Schopenhauer, List, Comte* und besonders *Mayer* vorgeführt wurden. Spätere Darstellungen *Dührings* [1]), in welchen auf jene Unterredungen mit *Mayer* Bezug genommen ist, setzen ebenfalls dessen Verdienste in das hellste Licht, lassen aber auch die eigene Verbitterung und mitunter wohl eine entsprechende Erregung *Mayers* erkennen.

53.

Bald nach der Remotion *Dührings* (am 2. Dezember 1877) hielt *Helmholtz* im Medizinisch-chirurgischen Friedrich-Wilhelms-Institut zu Berlin einen Vortrag „Ueber das Denken in der Medizin“ [2]), in welchem er sich „gegen das leere Hypothesenmachen“ aussprach, ohne „den Wert der echt originalen Gedanken herabsetzen“ zu wollen. „Oberflächliche Aehnlichkeiten finden ist leicht. — Unter einer grossen Zahl solcher Fälle werden ja auch wohl einige sein müssen, die sich schliesslich als

---

[1]) Neue Grundgesetze zur rationellen Physik und Chemie, Erste Folge, Leipzig 1878, S. 99 bis 145; *Robert Mayer*, der *Galilei* des neunzehnten Jahrhunderts, Chemnitz 1880. Vergl. die Kritik letzterer Schrift von *Rümelin* in der Beilage zur „Allgemeinen Zeitung“ vom 5. November 1879, worin übrigens *Rümelin* irrtümlich *Dühring* gestorben sein lässt.

[2]) Abgedruckt in *Helmholtz*, Vorträge und Reden, II, Braunschweig 1884, S. 167.

halb oder ganz richtig erweisen. — In solchem Glücksfalle kann man seine Priorität auf die Entdeckung laut geltend machen: wenn nicht, so bedeckt glückliche Vergessenheit die gemachten Fehlschüsse. — Die jetzige Art, Prioritätsfragen nur nach dem Datum der ersten Veröffentlichung zu entscheiden, ohne dabei die Reife der Arbeit zu beachten, hat dieses Unwesen sehr begünstigt."

Auf die letztere Bemerkung antwortete *Mayer* in einer Rezension [1]) des als Broschüre erschienenen *Helmholtz*schen Aufsatzes wie folgt: „Bekanntlich hat *Arago* den Grundsatz ausgesprochen: ‚Bei Prioritätsfragen entscheidet nur das Datum der Veröffentlichung.' Diesem Grundsatze gemäss habe ich auch durch eine vorläufige kurze Abhandlung in *Wöhler* und *Liebigs* Annalen, Maiheft 1842, mein Prioritätsrecht auf die mechanische Wärmetheorie und auf die von mir zuerst angestellte Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalents zu sichern gesucht. Zuzugeben ist, dass das in den Boden gelegte Saatkorn noch nicht zur Ernte reif ist. Kaum drei Jahre später aber habe ich in einer besonderen Schrift: Die organische Bewegung u. s. w., 1845, die genannte Theorie weit ausführlicher begründet, und die mir als Arzt naheliegende Anwendung auf Physiologie und teilweise auch auf Pathologie gemacht. Der Leser, der sich aber die Mühe nehmen will, die zweite Auflage meiner Mechanik der Wärme, Stuttgart 1874, zur Hand nehmen, wird leicht finden, dass die von mir schon im Jahre 1842 gepflanzte Saat inzwischen zur Reife gediehen ist."

In einer 1876 und 1877 in englischer und deutscher Sprache erschienenen Schrift behauptete *Tait*, dass *Friedrich Mohr* 1837, fünf Jahre vor *Mayer*, dessen Berechnungsart des mechanischen Wärmeäquivalents weit klarer als *Mayer* selbst dargelegt, und dieser, „eigentümlich genug", die kleine Schrift *Mohrs* nicht einmal erwähnt habe [2]). Professor *Tait* konnte die letztere unmöglich gelesen haben, da *Mohr* das mechanische Wärmeäquivalent überhaupt nicht berechnete [3]). Am 7. Dezember 1877

---

[1]) Memorabilien 1877, S. 525. Abgedruckt in „Kleinere Schriften und Briefe" unter XXII 23.

[2]) Vorlesungen über einige neuere Fortschritte der Physik, Deutsch von *Wertheim*, Braunschweig 1877, S. IX.

[3]) Vergl. „Kleinere Schriften und Briefe", XXI.

schrieb *Mayer* an *Dühring:* „Die Angriffe, welche englischerseits auf mich geschehen, ignoriere ich schon seit sehr langer Zeit vollständig. Durch das, was ich an die Pariser Akademie (siehe Compt. rend. 12. November 1879) [1]) geschrieben, halte ich die Prioritätsfrage für erledigt."

54.

Die erwähnte Rezension war die letzte Veröffentlichung *Robert Mayers.* Noch im Jahre 1877 zeigte sich am rechten Arme eine kleine Geschwulst. Auf die besorgte Frage seiner Frau, was dagegen geschehen könne, antwortete *Mayer*, dass die Geschwulst an sich nichts zu bedeuten hätte, aber sie bilde ihm ein Zeichen, dass sein Inneres nicht mehr in Ordnung sei. „Es ist etwas faul im Staate Dänemark," fügte er mit wehmütigem Humor hinzu. Er erklärte dann, dass seine Lunge in Zersetzung begriffen und die Geschwulst infolge ausgetretenen Eiters entstanden sei. An dem gleichen Leiden sei seine Mutter gestorben.

Von Weihnachten 1877 an fühlte sich *Mayer* ernstlich krank. Eine schleichende Lungenentzündung, verbunden mit Blutauswurf und immerwährendem Fieber, begann seine Kräfte aufzuzehren. Die behandelnden Aerzte, neben *Mayers* Sohn der Oberamtsarzt Dr. *Höring* und Dr. *Betz*, Herausgeber der „Memorabilien", stellten die Prognose absolut ungünstig, *Mayer* selbst war über den Ausgang niemals im Zweifel.

Fräulein *Emma Mayer* berichtet über die letzten Wochen: „Die Zeit dieser letzten Krankheit war eine Zeit des Friedens für unsern lieben Vater. Ohne viel Beschwerde, durch keine geistige Aufregung mehr gequält, lag er still und friedlich auf seinem Krankenbette, freundlich und heiter mit jedem Besucher, und stets besonders erfreut über das Kommen seines Sohnes, dem er immer mit Sehnsucht entgegensah. Mit der aufopferndsten Liebe wurde er von unsrer guten Mutter gepflegt, die ihn selbst nicht verliess, um der Taufe des ersten Töchterchens meines Bruders beizuwohnen. Sein Herz floss über in Dank gegen unsre liebe Mutter, die nach dem Ausspruch der Freunde unsers seligen Vaters der gute Stern seines Lebens war."

---

[1]) Siehe „Kleinere Schriften und Briefe", X 5.

Am 20. März 1878 nachmittags gegen 4 Uhr, schied *Robert Mayer* sanft aus dem Leben. Zwei Tage später, am 81. Geburtstage Kaiser *Wilhelms* I., fand auf dem alten Heilbronner Friedhofe die Beerdigung statt. Die Teilnahme war eine allgemeine. Auf Anordnung der städtischen Behörden wurden während der Begräbnisstunden die Fahnen eingezogen. Unter den Rednern am Grabe befanden sich *Mayers* Jugendfreunde *Lang* und *Rümelin* [1]).

Als wir sein Grab umstanden, beschlich uns ein bitteres Gefühl. Schwaben hat der Welt zwei Naturforscher von erstem Range gegeben. *Johannes Keppler* starb infolge von Entbehrungen, als er seine Rechte auf dem Reichstage zu Regensburg geltend machen wollte. *Robert Mayer* wurde verkannt und verletzt, bis er körperlich und geistig gebrochen war. Ein Fremder entschied die verspätete Wandlung. Doch er ruhte nun, er war am Ziel.

55.

„Das grossartige und weitläufige Gebäude der Erfahrungswissenschaften ist auf einer kleinen Anzahl von Pfeilern errichtet. — Jahrtausende hat es bedurft, bis es dem suchenden Geiste des Menschen gelungen ist, die Grundlagen der Wissenschaft zu finden.“ Mit diesen Worten hat *Mayer* selbst die Bedeutung der Entdeckung des mechanischen Wärmeäquivalents am besten charakterisiert.

Das mechanische Wärmeäquivalent war für ihn die „Achse“ eines Systems, welches alle Naturwissenschaften umfasst. Zur Beherrschung dieses endlos wachsenden Gebietes sind gewisse Grundanschauungen nötig, welche die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen verbinden, Schlüsse auf fehlende Glieder gestatten und eine erste Kontrolle der Forschungsergebnisse liefern. Die allgemeinsten dieser Gesetze bestimmen, dass bei keiner Veränderung in der Natur eine Aenderung der Stoffmenge eintritt und dass ebenso die Energie konstant erhalten bleibt.

Beide Grundpfeiler des Gebäudes der Erfahrungswissenschaften sind in erster Linie als Erfahrungssätze aufzufassen.

---

[1]) Die Grabreden sind abgedruckt in „Kleinere Schriften und Briefe“ unter XXVI.

Wie die Erhaltung der Materie unabhängig von Annahmen über Art, Gestalt und Gruppierung der Stoffteile, so gibt die Erhaltung der Energie unabhängig von Annahmen über Wesen, Gesetze und Beziehungen der Energieteile. Atomistische Theorien und mathematische Formulierungen mögen fallen, die Grundpfeiler bleiben davon unberührt.

Dass solch umfassende Erkenntnisse nicht fertig wie *Athene* aus dem Haupte des *Zeus* in die Erscheinung treten, ist leicht einzusehen, und so sind denn auch nach jeder bedeutenden Entdeckung Diskussionen über das Verdienst um dieselbe entstanden. Als *Copernikus* sein Weltsystem begründet hatte, bemerkte man bald, dass sich Vorahnungen desselben bis einige Jahrhunderte vor unsre Zeitrechnung zurück verfolgen liessen, *Newton* sah sich zur Beendigung von Streitigkeiten veranlasst, *Wren*, *Hooke* und *Halley* als selbständige Entdecker des Gravitationsgesetzes zu nennen; ähnlich lagen die Verhältnisse für die *Mayer*schen Entdeckungen.

Wir sehen das Hauptverdienst *Robert Mayers* darin, dass er das vor ihm allein in der reinen Mechanik als gültig erkannte Gesetz der Gleichheit von Ursache und Wirkung als Arbeitsäquivalenten (Satz von den lebendigen Kräften, siehe oben S. 283) mit kühnem Wurfe auf die ganze belebte und unbelebte Natur ausdehnte [1]). Es war das ein Wurf, ähnlich demjenigen, welchen *Newton* that, als er die *Galilei*schen Fallgesetze auf die Beziehungen der Weltkörper übertrug und damit zum Entdecker der allgemeinen Gravitation wurde. *Newton* wandte die Fallgesetze zunächst auf Mond und Erde an, *Mayer* das Aequivalenzgesetz zunächst auf Wärme und Arbeit. Indem er alle Vorurteile und Nebendinge beiseite schob, gelangte er zum mechanischen Wärmeäquivalente auf dem einzigen ohne neue Beobachtungen damals gangbaren Wege und führte trotz Widerspruch und Lauheit den einmal als richtig erkannten Gedanken in der gesamten organischen und unorganischen Natur durch. Wie *Lucrez* von *Epicur* können wir von ihm rühmen:

---

[1]) Der Herausgeber hat die in dieser Biographie vertretenen Ansichten zum Teil bereits niedergelegt und im Hinblick auf einzelne Forscher weiter ausgeführt in der Schrift: *Weyrauch*, *Robert Mayer*, der Entdecker des Prinzips von der Erhaltung der Energie, Stuttgart 1890. Vergl. auch *Weyrauch*, Das Prinzip von der Erhaltung der Energie seit *Robert Mayer*, Leipzig 1885.

Solchergestalt obsiegte des Geistes lebendige Kraft, drang
Ueber die flammenden Wälle der Welt weithin in die Fernen,
Und durchschritt das unendliche All in Geist und Gedanken.

Dass die *Mayer*schen Schriften auch Unvollkommenheiten enthalten, ist von ihm so wenig als von anderen bestritten worden. Wahrhaft bedeutende Menschen pflegen sich nicht für unfehlbar zu halten. *Mayer* hatte grosse Mühe, sich zunächst einmal in die Anschauungen der Physiker hineinzufinden. Aber bei Beurteilung seiner leider nur zu frühe beschränkten Leistungen wurden vielfach Dinge heran gezogen, welche, wie die Frage nach dem Wesen der Wärme, den Kern der Sache gar nicht treffen. *Mayer* hat nicht auf *Baco*, *Rumford* und *Davy*, sondern auf *Huyghens*, *Lavoisier* und *Liebig* weiter gebaut, niemand ist durch die Bewegungsnatur der Wärme zum mechanischen Wärmeäquivalent geführt werden.

Die Ansicht, dass *Mayer* in der Physik ein Freund metaphysischer Spekulationen gewesen sei, hätte nach seinem zweiten Aufsatze, von 1845, gar nicht aufkommen sollen, sie ist aber durch den Briefwechsel mit *Griesinger* noch gründlicher widerlegt worden. Wenn man zur Verbindung bisher unerklärt nebeneinander laufender Erscheinungen einen allgemeinen Satz aufstellt und diesen dann an der Hand der Erfahrung zu prüfen sucht, so treibt man damit noch keine metaphysische Spekulation. *Galilei*, *Keppler*, *Newton* haben nicht anders verfahren und ebensowenig diejenigen, welche den Splitter in *Mayers* Auge entdeckt zu haben glauben. Wir halten die Konzeption *Mayers* für bedeutender als wenn er, wie *Joule*, bei Versuchen zu andern Zwecken auf die Proportionalität von Wärme und Arbeit gekommen wäre.

Es handelte sich bei *Mayer* auch nicht um einen vereinzelten Einfall, eine glückliche Intuition. Jahrelang hat er sich rastlos mit den einschlagenden Fragen beschäftigt und schliesslich dem Fortschritte unsrer Erkenntnis seine Gesundheit geopfert. Der Herausgeber hofft, dies durch die „Kleineren Schriften und Briefe“ noch weiter klarzulegen und damit der Geschichte der Wissenschaft einen Dienst zu leisten.

Denn der Name *Robert Mayers* wird um so heller strahlen, jemehr die Grössen mit vorübergehendem Glanze um ihn schwinden. Und so lange die von ihm erkannte ewige Energie in Wahrheit suchenden Menschen kreist, werden die Freunde der Wissenschaft ihm huldigen!

Personenregister.

(Die Zahlen deuten die Seiten an.)

Adams 223. 374
Alexander II. 447.
Anaxagoras 401.
Andral 86. 103.
Arago 57. 147. 164. 184. 201. 450.
Archimedes 383. 385. 419.
Aristoteles 237. 436. 436.
Autenrieth 107. 135. 347.

Babinet 147.
Baco 367. 454.
Baumgartner, v. 315. 318. 320.
Baur 9. 17. 20. 30. 32. 33. 36. 38. 49. 43. 129. 130. 131. 144. 145. 146. 216. 217. 220. 222. 277. 279.
Bérard 56.
Bergmann 244.
Berlichingen, v. 3.
Bernoulli 137.
Berthold 413. 447.
Bessel 178.
Betz 431. 451.
Bismarck, v. 447.
Bohn 317. 318.
Boussingault 85.
Boyle 118. 282.
Brayley 351.
Brewster 222.
Broussais 336.
Brücke 295. 312.
Büchmann 129.
Buffon 214.
Byron 7.

Cailletet 393.
Carnot, Sadi 16. 282. 309.
Cartesius siehe Descartes.
Caspari 416.
Cauchy 147. 436.
Celsius 385.
Cicero 3. 399.
Clapeyron 310.
Clausius 286. 293. 296. 309. 314. 315. 321. 338. 340. 345. 359.
Closs, Friedrich 38.
Closs, Johanna 38.
Closs, Wilhelmine 38.
Cock, de 138.
Colding 233. 317. 356. 359.
Combes 279.
Comte 449.
Conduit 222.
Copernikus 453.
Cordier 206. 213. 223. 372.
Cotta 147. 233. 344. 417. 439.
Coulomb 64. 126. 137.

Darwin 415. 416.
Davy 341. 454.
Delaroche 56.
Democrit 36.
Descartes 59. 62. 131. 436.
Despretz 81. 82. 83. 131.
Donders 228.
Douville 114.
Dove 354.
Drechsler 140.
Dühring 365. 438. 448. 449. 451
Dulong 56. 57. 67. 80. 81. 82. 83 131. 175. 269.

Ebensberger 38.
Empedokles 129. 375.
Enke 165.

Epicur 36. 129. 413. 453.
Euklid 266. 392.
Euler 426. 447.

Faraday 141. 231. 314. 315.
Feuerbach 449.
Fischer 211.
Fourier 208. 209. 210.
Franklin 211.
Fresnel 436.

Galilei 45. 254. 386. 387. 419. 420. 429. 434. 436. 449. 453. 454.
Gay-Lussac 20. 53. 130. 225. 269. 281. 282. 385.
Goethe 3. 396. 400. 430. 446.
Grassi 175.
Griesinger 7. 9. 22. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 40. 41. 42. 43. 129. 130. 131. 134. 138. 142. 144. 147. 277. 296. 310. 322. 342. 378. 447. 454.
Grove 315.
Guericke 436.

Haekel 416.
Haller, v. 415.
Halley 453.
Hauff 5.
Heermann 1.
Hegel 20. 418.
Hegelmaier 431.
Heine 444.
Heis 351. 352.
Helmholtz, v. 148. 227. 228. 233. 287. 293. 314. 315. 316. 317. 321. 346. 347. 356. 359. 360. 365. 372. 448. 449. 450.
Henry 186.
Heraklit 315.
Hering 301. 302.
Herodot 3.
Herostratos 446.
Herrschel 152. 156. 180. 182. 184. 217. 223.
Hettich 431.
Hiob 394.
Hipparch 223. 372.
Hirn 279. 311. 313. 314. 317. 340. 359. 360. 361. 364.
Hödel 447.
Hofmann 139.
Holtzmann 96. 226. 227. 233. 270. 271. 281. 282. 296. 310. 312. 315. 316. 321. 356. 359.
Home 421.
Hooke 453.
Höring 451.
Horner, v. 212.
Hüfner 416.
Humboldt 147. 211. 371.
Hunter 135.
Huyghens 420. 436. 454.

Jäger 416.
Jolly 21. 321.
Joule 56. 130. 149. 224. 225. 226. 227. 228. 233. 272. 273. 276. 279. 280. 296. 311. 312. 315. 316. 317. 336. 340. 356. 359. 360. 449. 454.

Kant 222. 278. 372. 372. 376. 377.
Kapff 2.
Kaufmann 148.
Kehrer 17.
Keppler 163. 220. 425. 452. 454.
Kerner 40. 431.
Kirchhoff 276.
Klaiber 5.
Kobell, v. 295.
Kohlrausch 82.
Kolbe 416.
Krause 416.
Kullmann 447.

Laboulaye 314.
Lagrange 426. 427. 429.
Lamont 352.
Landerer 306. 307.
Landherr 149. 150. 151. 235.
Lang 6. 8. 301. 304. 308. 363. 366. 394. 452.
Langel 336.
Laplace 182. 192. 205. 206. 207. 208. 214. 221. 223. 276. 372. 373. 374. 429.
Lavoisier 13. 15. 81. 86. 244. 276. 331. 389. 393. 399. 454.
Leibnitz 62. 131. 253.
Leverrier 352.
Liebig, v. 15. 22. 33. 34. 35. 42. 43. 57. 81. 82. 83. 86. 96. 104. 109. 131. 132. 133. 134. 135. 136. 137. 138. 139. 142. 227. 247. 272. 277. 296. 313. 318. 321. 324. 338. 405. 414. 454.
Linné 396. 397.
List 449.
Littrow v. 165. 217.

Livius 3.
Lotze 96.
Lucian 356.
Lucretius 36. 129. 413. 453.
Luther 401.

Magendie 99.
Marc Aurel 129.
Mariotte 45. 118. 384.
Mayer, Anna 228.
Mayer, Christian 1. 431.
Mayer, Christophorus 1.
Mayer, Elisabeth 1.
Mayer, Elise 366. 414. 430.
Mayer, Emma 394. 431. 451.
Mayer, Fritz 1. 17. 144. 229. 320. 431.
Mayer, Gustav 2.
Mayer, Julie 228.
Mayer, Paul 394. 431. 451.
Mayer, Robert 1.
Mayer, Tobias 425. 426.
Mayer, Wilhelmine 38.
Mill 30.
Mohr 278. 343. 345. 359. 450.
Montgolfier 224.
Moses 117. 381. 390. 400.
Mülberger 437.
Müller 99. 142. 143. 421.

Napoleon III. 421.
Newton 45. 50. 59. 146. 170. 178. 187. 202. 222. 223. 238. 252. 253. 254. 257. 259. 264. 276. 278. 292. 293. 387. 420. 421. 423. 429. 433. 453. 454.
Nobiling 447.
Nollet 447.
Nörremberg 19.

Ohm 294.

Palm 306. 307.
Pascal 436.
Paumard 352.
Peltier 73.
Person 270. 281. 282. 312. 317.
Petit 352.
Pettenkofer v. 411. 414.
Pfaff 141. 257. 277.
Pfeufer 41.
Phidippides 7.
Pictet 393.
Pierer 319.
Pius IX. 416.
Plato 315. 398.
Plutarch 367.
Poggendorff 16. 17. 19. 139. 319.
Poiseuille 88. 298.
Pouillet 147. 156. 157. 175. 177. 190. 214.
Prechtl 32.
Prony 270. 279. 348.

Rankine 288. 309.
Rauch, v. 1.
Reaumur 385.
Regnault 56. 282. 295. 311. 312. 317.
Reich 84. 197.
Rembold 344. 345. 346.
Reusch 319. 321. 366.
Reuschle 148. 149. 217. 223. 278. 345. 351.
Riemann 293.
Rohlfs 432. 447.
Roser 9. 140. 296. 322.
Rühlmann 279.
Rümelin 3. 4. 5. 19. 38. 145. 229. 230. 307. 308. 344. 394. 427. 428. 429. 430. 437. 449. 452.
Rumford 61. 131. 266. 413. 454.
Rupp 172.

Saint-Robert, de 340.
Sassulitsch 447.
Saussure de 75. 131.
Schaaffhausen 134.
Scharling 82.
Schäuffelen 91.
Schell 429.
Schiller 69. 397. 398. 405. 445. 446.
Schmid 415.
Schönbein 321.
Schopenhauer 449.
Schwann 45. 111. 118.
Séguin 224. 233.
Seneca 3.
Seyffer, Oberamtsarzt 38. 40.
Seyffer, Otto 231. 232. 233. 278.
Sigel 229.
Steinbeis 348.
Stöhrer 149.
Strauss 362. 363.

Tait 340. 342. 351.
Taylor 58.
Thackrah 107.
Thomson 286. 309. 317. 340. 345.
Toricelli 432. 433. 434. 435. 436.

Trepow 447.
Treviranus 95.
Tscherning 3.
Tycho Brahe 275.
Tyndall 338. 339. 340. 341. 342. 345. 365.

Valentin 45. 88. 89. 109. 111. 116. 298. 299. 300.
Verdet 340.
Vierordt 296. 297. 298. 299. 300. 301. 302. 322.
Virchow 416.
Vogt 365.
Voit v. 411. 414.
Volkmann 300.
Voltaire 447.

Wagner 322.
Watt 58. 279. 311.
Weber 290. 293.
Wenz 7.
Weyrauch 286. 287. 293. 437. 453.
Wieland 342.
Wilhelm I. 447. 451.
Winter 431.
Wren 454.
Wunderlich 9. 96. 140. 296. 322.

Xenophon 3.

Young 436.

Zech 348. 349. 358.
Zeeman 10. 138.
Zeller 305. 307. 308. 321.

Sachregister.

(Die Zahlen deuten die Seiten an.)

Abkühlung der Erde 203. 206. 209. 214. 371. 373.
Abscess 94. 335.
Adhäsion 434.
Aequivalent 249. Siehe auch Wärmeäquivalent.
Aequivalenz 15. 20. 26. 27. 149. 154. 249. 311. 316 u. a.
Aerztliche Praxis Mayers 9. 11. 13. 37. 38. 319. 320. 344.
Aether 151. 162. 164. 165. 184. 267. 402. 432. 433. 435. 436.
Affinität 251. 256. 313.
Aggregatänderung 270.
Aktinometer 156.
Allgemeingefühl 443.
Ansteckung 445.
Anstrengung 126.
Arbeit 153. 155. 388 u. a.
Arbeit, äussere 285.
Arbeitseinheit 155. 216.
Arbeitsfähigkeit 284. 287.
Arbeitsmesser 270. 345. 348. 358.
Arbeitszufuhr von der Sonne 191.
Arbeit, tierische 41. 79. 84. 87. 108. 114. 123. 124. 126. 132. 313. 325. 327. 407. 410 u. a.
Arbeit, Unzerstörbarkeit 149. Siehe auch Erhaltung der Energie.
Aspirator 92.
Assimilation 411.
Asteroiden 164. 166. 402.
Astronomie 239.
Atmosphäre 176. 190. 191. 401. 403.
Atome 267. 268.
Atrabilarische Gesichtsfarbe 107.
Ausdehnung und Kompression von Gasen 20. 53. 55. 117. 130. 225. 265. 269. 274. 285 u. a.
Ausgangspunkt von Mayers Entdeckungen 13. 14. 105. 243.
Ausdehnungskoeffizient 281. 282. 385.
Auslösung 87. 90. 92. 101. 104. 119. 124. 334. 440. 447. 448.
Auslösung, Ueber, Aufsatz 439.

Batavia 11. 12. 13. 105.
Barometerhöhe 238. 383. 434.
Bergsteigen 115.
Beschleunigung 59.
Bewegende Kraft 253.
Bewegung 15. 18. 24. 49. 59. 71. 263. 388. 400 u. a.
Bewegung, latente 55.
Bewegung, Mass derselben 16. 20. 21. 50 u. a.
Bewegungsgrösse 16.
Billion 217.
Blätter 107. 403.
Blut 98. 101. 102. 120. 244. 299. 326. 333. 409 u. a.
Blut bei Fieberkranken 332.
Blutfarbe 13. 102. 104. 105. 106. 109. 123. 243. 276.
Blutflüssigkeit 102. 120. 326.
Blutkörperchen 102. 103. 104. 112. 120. 326. 343. 402.
Bluttemperatur 96. 106.
Boylesches Gesetz 118. 384.
Boyle-Gay-Lussacsches Gesetz 282.
Breite der Gesundheit 105.

Brennstoff des Tierkörpers 88. 98. 101. 410. 414 u. a. Siehe auch chemisch. Prozess im Tierkörper.

Carnotsches Gesetz 351.
Cartesisches Mass der Kräfte 59. 62. 222. 259.
Centralbewegungen der Himmelskörper 68. 72.
Centralkräfte 227. 290. 291.
Centralsonne 352.
Charakteristik des Sonnensystems s. Geschwindigkeitsmaximum *G*.
Chemie 14. 19. 31. 48. 249. 262. 332. 389. 399 u. a.
Chemische Differenz 15. 30. 36. 67. 71. 74 u. a.
Chemischer Prozess bei Fieberkranken 329. 331. 333.
Chemischer Prozess im Tierkörper 78. 81. 85. 87. 88. 95. 103. 106. 109. 110. 114. 122. 123. 124. 132. 211. 244. 245. 325. 406. 407. Siehe auch Ernährung.
Chemischer Prozess im Tierkörper, Ort desselben 90. 96. 98. 101. 114. 323.

Dampfmantel 279.
Dampfmaschine 28. 29. 32. 52. 54. 58. 72. 121. 123. 124. 132. 136. 247. 271. 277. 310. 313. 314. 348. 384. 406. 407. 410.
Darwinismus 413. 415.
Definitonen 418.
Deprimierende Gemütsaffekte 82.
Diathermane Energie 173. 175.
Dissertation Mayers 8.
Dulongs Gesetz 57. 269.
Dynamik des Himmels, Aufsatz 151.
Dynamometer, siehe Arbeitsmesser.

Ebbe und Flut 149. 187. 262. 294. 295. 353. 373 u. a.
Effekt, dynamischer 155.
Effekt, mechanischer 51. 71. 155. 388.
Eigenschaften 31.
Elektrizität 15. 30. 32. 36. 63. 65. 71. 73. 399 u. a.
Elektrische Motore 32.
Elektrische Strömung auf der Erdoberfläche, Erdmagnetismus 353. 354.
Elektrophor 63.
Energie 15. 30. 285. 400 u. a. Siehe auch Kraft, Arbeit, Bewegung, lebendige Kraft u. s. w.
Energie, aktuelle 284. 286. 287.
Energie der Welt 287.
Energie eines materiellen Systems 284. 288. 292.
Energie, Grundgleichung derselben 284.
Energie, potentielle 15. 32. 284.
Energie, virtuelle 284. 286. 288.
Energie, Zerstreuung derselben 286.
Enkes Komet 165.
Entropie 286. 350. 351. 359.
Erdbeben 204. 213. 367. 371.
Erdbeben, Ueber, Aufsatz 367.
Erdbildung 198. 275.
Erdform 195. 200.
Erdrotation 149. 187. 188. 189. 191. 192. 194. 197. 202. 212. 262. 294. 295. 372. 373. 374. Siehe auch Tageslänge.
Erdtemperatur 176. 200. 206. 208. 211. 214. 370.
Erdwärme, innere 198. 370.
Erhaltung der Energie (Kraft) 10. 15. 16. 18. 36. 47. 71. 227. 268. 287. 290. 291. 309. 316. 317. 324. 372. 399. 413. 452 u. a.
Erhaltung der lebendigen Kraft 25. 51. 182. 227. 265. 288. 290. 291.
Erhaltung der Sonnenenergie 146. 152. 158. 160. 162. 170. 353. 401 u. a.
Erhaltung des Stoffs 24. 399. 452 u. a.
Ermüdung, Erschöpfung 124. 125. 126. 127.
Ernährung 397. 401. 403. 405. 407. 410. 412. 414. Siehe auch chemischer Prozess im Tierkörper.
Ernährung, Ueber, Aufsatz 396.
Erwärmung bewegter Flüssigkeiten 12. 19. 27.
Expansibilität 117.

Fall, freier 49. 60. 72. 146. 166. 219. 238. 257. 369. 386. 419. Siehe auch Gravitation und Geschwindigkeitsmaximum *G*.
Fallkraft 24. 28. 32. 36. 50. 71. 220. 263. 264. 277. 386 u. a.

Fallzeiten, Fallhöhen, terrestrische 421.
Fallzeiten, Fallhöhen, kosmische 421.
Fieber 94. 103. 322. 324. 327. 330. 336. 410. 444.
Fieberanfall Mayers 233.
Fieber, Ueber das, Aufsatz 324.
Fische 121. 122.
Fleischextrakt 414.
Fluida 266.
Fötus 106. 123.
Funken 445. 447.
Funktion 420.

Gärung 83. 90. 334. 408. 442 u. a.
Gay-Lussacs Versuch 20. 53. 130. 225. 269.
Gehirnentzündung Mayers 233. 303. 306. 307.
Geist, geistiges Prinzip 87. 356. 357. 360. 364.
Geld 390. 419.
Gemütsleiden Mayers 305. 307. 308.
Geschwindigkeit eines Planeten 68. 168. 220.
Geschwindigkeitsmaximum *G* eines frei fallenden Körpers 60. 67. 167. 257. 258. 387.
Gesetz der grossen Zahl 427. 429.
Gewebsteile 99. 101 u. a.
Gewichtserhebung 49. Siehe auch Fallkraft.
Göppingen 305. 307.
Gottheit 262. 378. Siehe auch Schöpfer.
Göttliche Weltordnung 237.
Göttliche Zweckmässigkeit 180.
Grad Wärme 130. 216 u. a.
Gravitation, Gravitationsgesetz 50. 60. 67. 146. 160. 166. 218. 256. 257. 264. 278. 292. 293. 387. 420 u. a.
Grosskalorie 157. 217. 388.
Grovescher Gasapparat 71.

Hämadynomameter 301.
Hauptsatz, Zweiter, der Wärmetheorie 351.
Hauptverdienst Mayers 453.
Hebel 65. 72. 383.
Herkunft Mayers 1.
Herzkraft, Ueber die, Aufsatz 298.
Herzmuskel 88. 110. 112. 137. 297. 298. 300. 328.
Horror vacui 313. 435.
Hypothesen 18. 23. 41. 69. 73. 108. 133. 145. 378. 379.

Imponderabilien 24. 30. 71. 74. 235. 265. 315. 324. 398. 399. 400.
Individuen 356. 360.
Innervation 123. 124.
Integrierende Funktion 285.
Irritabilität 117. 119. 122. 123. 124. 326.
Isomerie der Kräfte 19.

Java 11. 22. 106. 225. 243.
Jongleure 326. 328.

Kalorie 59. 130. 154. 367. 368. 388.
Katalytische Wirkung 102.
Kennenburg 305. 366. 430.
Klima 214.
Knabenjahre Mayers 1.
Kohäsionsänderung 270. 271. 272.
Kohlensäurebildung im Tierkörper 331. 332. Siehe auch chemischer Prozess im Thierkörper.
Konsequenzen und Inkonsequenzen, Ueber, Aufsatz 347.
Kontakteinfluss 101. 104. 124. 326. Siehe auch Auslösung.
Körper 7. u. a.
Körpertemperatur 81. 114. 224. 322. 329. 331.
Kraft 15. 18. 23. 30. 31. 34. 47. 59. 71. 250. 255. 256. 260. 265. 272. 278. 324. 343. 356. 447 u. a. Siehe auch Energie.
Kräfte, äussere 283.
Kräfte, innere 283.
Kräfte, chemische 71.
Kräfte, mechanische 71.
Kräfte der unbelebten Natur, Aufsatz 23.
Kraftformen 13.
Kraftmesser siehe Arbeitsmesser.
Krankenthermometrie 322.
Krankheit 7. 96. 138. 327. 331. 334. 444. 445 u. a.
Kreiseinteilung 391.
Kreisprozess 286. 309.
Krieg von 1870—71. 394.
Kulturkampf 416.

Längenmasse 382.
Latente Bewegung 55.
Latente Wärme 55. 58. 70. 117. 268.
Lebendige Kraft 16. 31. 37. 49. 155. 251. 253. 283. 288. 290 u. a.
Lebendigen Kräften, Satz von den 283. 290. 453.
Lebenskraft 35. 76. 82. 90. 95. 103. 132. 133. 134. 135. 136. 142. 312.
Lebensprozess 76. 79. 84. 88. 92. 101. 128. 131. 135. 245. 325. 332. 360. 396. 442. u. a.
Leerer Raum 238. 433. 436.
Leistung, mechanische 155.
Licht 16. 28. 36. 72. 75. 146. 151. 178. 266. 399. 401. 433 u. a.
Lokomotiven 28. 52. 58.
Luftströmungen 190. 191. 192. 193. 353. u. a.
Lungen 96. 104. 325. 409 u. a.
Lymphe, lymphatisches Gefässsystem 99.

Magnetismus 66. 71. 354.
Magnetnadel, Richtung 354.
Mariottesches Gesetz 118. 384.
Materialismus 356. 360. 362. 364. 376.
Materie 15. 19. 24. 31. 73. 156. 356 u. a.
Materie, Wesen 267.
Materielles System 283.
Mathematik 6. 39. 45. 272.
Mechanik 39. 46. 250. 251. 252. 254. 256. 383. 385.
Mechanik der Wärme von Mayer 344. 430.
Mechanische Wärmetheorie 309. 372. 388. 400.
Meeresströmungen 193.
Meerestemperatur 211.
Meile 157.
Mensch, Leistung 80. 88. 109. 111. 325. 328. 410 u. a.
Mensch, Verbrauch 80. 86. 88. 109. 114. 410 u. a. Siehe auch chemischer Prozess im Tierkörper.
Metamorphosen der Kraft 48. 72. 108. 318 u. a. Siehe auch Verwandeln.
Metaphysik 345. 355. 364. 454.
Meteore siehe Asteroiden und Sternschnuppen.
Meteoritentheorie der Sonnenenergie 116. 216. 343. 350. 401 u. a.
Meterkilogramm 155. 156. 216. 367. 388.
Mineralreich 397.
Mischungsgewichte 390.
Mühlen 61. 74. 189. 401.
Münzsystem 390. 392. 419.
Muskeln 87. 88. 107. 108. 111. 112. 114. 137. 122. 123. 131. 133. 299. 326. 443 u. a. Siehe auch Herzmuskel.
Mysticismus 84. 421.

Nährwert 409. 411. 414 u. a.
Narcotica 444.
Naturerkennen, Grenzen 236. 262. 267. 276. 378. 379. 415. 420.
Naturforscherversammlungen 319. 320. 344. 346. 347. 365. 376.
Naturforschung,Naturwissenschaft 46. 108. 142. 170. 236. 237. 276. 378. 379. 385. 389. 398. 418. 452 u. a.
Naturphilosophie 36. 46. 91. 142. 236. 241. 262.
Nerven 87. 124. 443 u. a.
Nutzeffekt 32. 58. 110. 131. 294. 326. 411.

Organische Bewegung, Aufsatz 45.
Ortsbestimmung auf der Erde 422.
Oxydation siehe Verbrennung.

Paris 9.
Passatwinde 353.
Pendelschwingungen 72. 187.
Perpetuum mobile 2. 16. 37. 227.
Pferdekraft 191.
Pferd, Leistung 73. 125.
Pferd, Verbrauch 80. 85.
Pflanzen, Pflanzenreich 75. 77. 402. 404.
Pflanzenphysiologie 75.
Pfund 79.
Philosophie 6. 262. 355. 357.
Physik 14. 45. 262. 355. 398. 420. 441. Siehe auch Mechanik.
Physik, elementare 6. 255.
Phlogiston 134. 313.
Physiologie 35. 41. 45. 142. 262. 295. 296. 355. 409 u. a.

Physische Grenze der Anziehungssphäre 66.
Politische Stellung Mayers 228. 394. 416.
Potential 288.
Primitive Ursachen 141. 258.
Priorität Mayers 36. 37. 225. 246. 272. 273. 315. 317. 338. 340. 356. 359. 449. 450 u. a.
Problem der drei Körper 425. 429.
Proteïnstoffe 412.
Pulverisierte Körper 271.
Pyrheliometer 156.

Quadrillion 217.
Quellen 201.
Quinquillion 217.

Radialkräfte 290. 291. 293.
Räumliche Differenz, räumliches Getrenntsein 15. 24. 66. Siehe auch Fallkraft und Energie, potentielle und virtuelle.
Reibungselektrizität 65 u. a.
Reibungswärme 15. 26. 61. 65. 97. 136. 149. 159. 172. 274. 359. 366 u. a.
Reise nach Ostindien 10.
Reizbarkeit siehe Irritabilität.
Religiöse Ansichten Mayers 362 u. a.
Reptilien 120. 122.
Resorption lebender Gebilde 93. 335.
Respirationsprozess 13. 81. 85. 86. 98. 103. 115. 119. 326 u. a.

Santonin 8.
Satz von den lebendigen Kräften 283. 290. 454.
Säule, galvanische 73. 77.
Schall 151.
Schlaf 125. 137. 404.
Schmelzwärme 270.
Schwannsches Gesetz 118.
Schönthal, Seminar 3.
Schöpfer, Schöpfung 69. 350. 355. 362. 378. 385. 397. 398. 406. 407. 410.
Schweizerreise Mayers 8.
Schwere, Schwerkraft 25. 47. 59. 259. 260. Siehe auch Fall, Fallkraft, Gravitation.
Seele 356. 363. 364. 435.
Seereise Mayers 10.
Sekretion lebender Gebilde 93. 335.
Sonnenatmosphäre 185.
Sonnenenergie 75. 146. 401 u. a.
Sonnenenergie, Erhaltung 146. 152. 158. 160. 162. 170. 353. 401 u. a.
Sonnenenergie, Mass 156.
Sonnenenergie, Wandlungen 74. 404 u. a.
Sonnenfackeln 183.
Sonnenflecken 182.
Sonnenmasse 178.
Sonnenoberfläche 182.
Sonnenrotation 158. 187.
Sonnensystem 36. 39. 160. 180. 352.
Sonnentemperatur 174. 184.
Specifisches Gewicht 383.
Specifische Wärme 32. 56. 179. 207. 267 u. a.
Spekulation 419.
Spiritismus 421.
Spirituosen 410. 445.
Stabkräfte 290. 291. 293.
Status nascens 69. 108. 114.
Steinkohlenlager 216. 405.
Sternschnuppen 164. 274. 343. 351. 352. 402.
Stoss 61. 66. 72 u. a.
Strahlen 72. 156. 173. 176. 178. 186.
Substanzen 398. 399.
Surabaya 11. 13. 106. 225.
System, materielles 283.

Tagebuch der Seereise Mayers 14.
Tageslänge 204. 212. 372. 374.
Temperatur, absolute 286.
Temporäre Fixsterne 222. 275. 343. 371.
Thermen 40. 211. 370.
Thermodynamische Maschinen 311. Siehe auch Dampfmaschinen.
Tiere, Tierreich 78. 92. 108. 119. 122. 312. 334. 405 u. a.
Tiere, kaltblütige 106. 119. 120. 122. 123. 408.
Tiere, warmblütige 106. 119. 122. 408.
Todesnachricht, falsche 318. 343.
Tod Mayers 451.
Toleranz Mayers 364. 365. 416.
Ton 152.
Toricellische Leere 432. 433.
Transfusion 120.
Transpiration 116.
Trillion 217.

Umwandlung siehe Verwandlung.
Universitätsstudien Mayers 6. 9.
Unveränderliche Grössen, Aufsatz 381.
Urmaterie 163.
Ursache und Wirkung 15. 23. 27. 30. 34. 37. 48. 137. 275. 287. 441. 453 u. a.

Vakuum siehe leerer Raum.
Veränderliche Grössen, Aufsatz 418.
Verbrennung 57. 72. 172. 407 u. a.
Verbrennung, physiologische, siehe chemischer Prozess im Tierkörper.
Verdampfungswärme 271.
Verehelichung Mayers 38.
Versuche Joules 224. 279. 280. Siehe auch Joule.
Versuche Mayers 19. 27. 61. 69. 143. 145. 160. 270. 271. 435.
Versuche Regnaults 282. 311 u. a.
Versuche von Dulong und Despretz 81. 131.
Versuche von Hirn 311. 314.
Verwandeln, Verwandlung 51. 72. 75. 77. 108. 130. 143. 243. 265 u. a. Siehe auch Metamorphosen.
Vibrationshypothese, thermische 27. Siehe auch Wesen der Wärme.
Virtuelle Geschwindigkeiten, Prinzip der 63.
Vögel 122. 125.
Vulkane, vulkanische Erscheinungen 209. 213. 223. 371. 375 u. a. Siehe auch Erdbeben.

Wärme 15. 18. 26. 27. 29. 36. 57. 61. 172. 248. 266. 309. 310 u. a. Siehe auch Erdwärme, Reibungswärme, Sonnenenergie.
Wärme, latente 55. 58. 70. 117. 268.
Wärme, specifische 32. 56. 179. 207. 267 u. a.
Wärme, strahlende 28. 74. 266. 379 u. a.
Wärme, tierische 13. 36. 41. 81. 84. 87. 108. 114. 131. 244. 276. 313. 322. 325. 332 u. a.
Wärme, Wesen 27. 28. 32. 37. 73. 131. 177. 242. 266. 373. 389.
Wärmeäquivalent, mechanisches 20. 29. 32. 37. 56. 143. 144. 225. 226. 232. 235. 243. 246. 271. 273. 274. 276. 279. 295. 296. 309. 312. 313. 316. 327. 358. 368. 389. 441. 452. 453 u. a.
Wärmeäquivalent, Berechnung desselben 310. 281. 282.
Wärmeeinheit siehe Kalorie.
Wärmekubikmeile siehe Grosskalorie.
Wärmequellen 153 u. a.
Wärmetheorie, mechanische 309. 372. 388. 400.
Wahrscheinlichkeit 426. 428. 429.
Wasser, durch Bewegung erwärmt 12. 19. 27.
Wasserwerke 28. 189. 326. 348. 401.
Wattsche Maschinen 58.
Webersches Gesetz 290. 293.
Weltstillstand siehe Zielläufigkeit.
Widerstand im Weltraum 162. 164. 165. 222. 402.
Wildbader Wasser 40. 370.
Willen, Willensfreiheit 87. 355. 359. 407. 427. 428. 443.
Winnenthal 305. 307.
Wirkungsraum einer Kraft 251.
Wurzelernährung 405. 411.

Zahlenbeziehungen 145. 237. 240. 242.
Zeitbestimmung 2.
Zeiteinteilung 381. 391. 392. Siehe auch Tageslänge.
Zersetzung 90. 92. 95. 135. 334.
Zerstreuung der Energie siehe Zielläufigkeit.
Zeugung 356. 415.
Zielläufigkeit der Welt 286. 345. 350.
Zodiakallicht 166. 180. 187. 217.
Zufall 426. 427.
Zustand 285.
Zustandsänderungen 285.

Berichtigungen.

S. 88, dritte Zeile von unten ist 16 für 15 zu setzen.
S. 96, auf dem Rande soll 29, nicht 28, stehen.
S. 303, vorletzte Zeile des ersten Absatzes ist Temperamentfehler richtig.

BIBLIOTHECA REGIA MONACENSIS

Verlag der J. G. Cotta'schen Buchhandlung Nachfolger
in Stuttgart.

Alexander von Humboldt:

Kosmos.

Entwurf einer physischen Weltbeschreibung.

4 Bände, Preis geheftet 5 M. In 2 eleganten Leinenbänden 6 M.

Reise in die Aequinoktial-Gegenden

des neuen Kontinents.

Einzige von A. Humboldt anerkannte Ausgabe
in deutscher Sprache.

4 Bände, Preis geheftet 5 M. In 2 eleganten Leinenbänden 6 M.

Ansichten der Natur

mit

wissenschaftlichen Erläuterungen.

Preis geheftet 1 M. 25 Pf. Elegant gebunden 1 M. 80 Pf.

Gesammelte Werke.

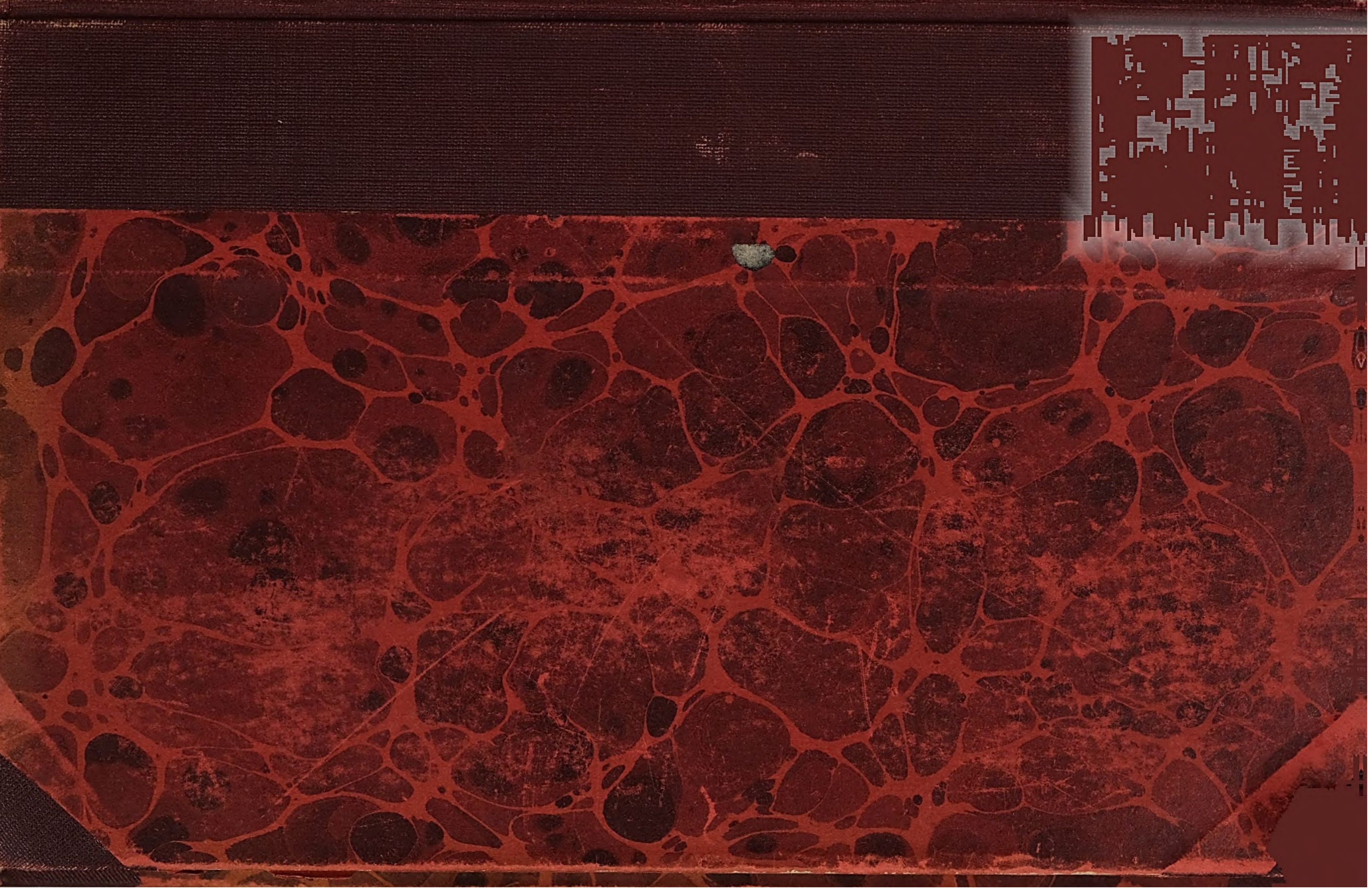
Mit Porträt.

12 Bände, Preis geheftet 15 M. In 6 eleganten Leinenbänden 18 M.

Druck der Union Deutsche Verlagsgesellschaft in Stuttgart.

MAX LUBER
BUCHBINDEREI
OBERANGER 51

PAL
2007



BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Mayer, Robert <<von>>,

Die Mechanik der Wärme in gesammelten Schriften

Stuttgart 1893

Phys.sp. 453 fb
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11881866-1